



TUGAS AKHIR - TF 145565

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN
AKUISISI DATA TEMPERATUR DI KOMPONEN
KONDENSOR DAN EVAPORATOR PADA AIR
CONDITIONING LABORATORY UNIT PA HILTON
A575**

LUFI IZZATI AINI
NRP. 2412 031 027

Dosen Pembimbing
Dr. RIDHO HANTORO, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TF 145565

***DESIGN OF TEMPERATURE MONITORING SYSTEM
AND DATA ACQUISITION IN PART OF CONDENSOR
AND EVAPORATOR AIR CONDITIONING
LABORATORY UNIT PA HILTON A575***

LUFI IZZATI AINI
NRP. 2412 031 027

Supervisor
Dr. RIDHO HANTORO, S.T., M.T.

DIPLOMA OF METROLOGY AND INSTRUMENTATION ENGINEERING
Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN
AKUSISI DATA TEMPERATUR DI KOMPONEN
KONDENSOR DAN EVAPORATOR PADA AIR
CONDITIONING LABORATORY UNIT PA HILTON
A575**

TUGAS AKHIR

Oleh :

LUFU IZZATI AINI
NRP. 2412 031 027

Surabaya, 30 Juli 2015

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIP. 19761223 200501 1 001

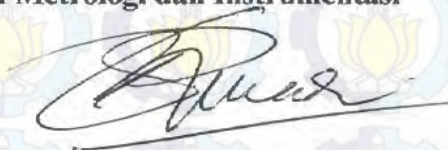
Mengetahui,

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI – ITS**



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA
NIP. 19650309 199002 1 001

**Ketua Program Studi
DIII Metrologi dan Instrumentasi**



Dr. Ir. Purwadi Agus D, M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN
AKUSISI DATA TEMPERATUR DI KOMPONEN
KONDENSOR DAN EVAPORATOR PADA AIR
CONDITIONING LABORATORY UNIT PA HILTON
A575**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**LUFI IZZATI AINI
NRP. 2412 031 027**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. (Pembimbing)
2. Ir. Harsono Hadi, M.Sc., Ph.D (Ketua Tim Penguji)
3. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc (Penguji I)

**SURABAYA
Juli 2015**

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN AKUISISI DATA TEMPERATUR DI KOMPONEN KONDENSOR DAN EVAPORATOR PADA AIR CONDITIONING LABORATORY UNIT PA HILTON A575

Nama Mahasiswa : Lufi Izzati Aini
NRP : 2412031 027
Program Studi : D3-Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Ridho Hantoro, ST, MT

Abstrak

Pengkondisian udara nyaman adalah proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur temperatur, kelembaban, kebersihan dan pendistribusiannya untuk mencapai kondisi nyaman. Pengkondisian udara saling berkaitan dengan bidang refrigerasi, suatu simulator atau alat pengkondisian udara dapat menghasilkan udara nyaman ketika bidang refrigerasinya bekerja dengan baik. Air Conditioning Laboratory unit Pa Hilton A575 merupakan simulator pengkondisian udara yang dilengkapi dengan berbagai proses-proses psikrometrik seperti pemanas (heating), pendingin (cooling), penambahan dan pengurangan kandungan air di udara (humidifying-dehumidifying). Oleh karena itu dibutuhkan suatu perancangan alat untuk mengetahui nilai temperatur di komponen kondensor dan evaporator pada Air Conditioning Laboratory unit A575. Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan sistem monitoring dan akuisisi data temperatur di komponen kondensor dan evaporator pada Air Conditioning Laboratory Unit PA Hilton A575 dengan menggunakan sensor LM35, arduino uno 328, sebagai display LCD 16 x 2 dan terhubung dengan software Visual Studio 2010 serta akuisisi data menggunakan software Microsoft access. Alat ukur hasil rancang bangun ini memiliki ketidakpastian sebesar $\pm 0,13^{\circ}\text{C}$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Berdasarkan hasil perhitungan dari data temperatur, didapat nilai COP 6,04 pada temperatur kondensor $34,50^{\circ}\text{C}$ dan temperatur evaporator $29,60^{\circ}\text{C}$. Nilai COP tersebut diketahui lebih besar dari nilai COP Standar ASHARE yaitu sebesar 3,05. Dapat disimpulkan bahwa sistem refrigerasi yang bekerja pada Air Conditioning Laboratory Unit PA Hilton A575 masih dapat berfungsi dengan baik.

Kata kunci: *Pengkondisian Udara Nyaman, Air Conditioning Laboratory, Temperatur*

***DESIGN OF TEMPERATURE MONITORING SYSTEM
AND DATA ACQUISITION IN PART OF CONDENSOR
AND EVAPORATOR AIR CONDITIONING
LABORATORY UNIT PA HILTON A575***

Name : Lufi Izzati Aini
NRP : 2412031 027
Study of Program : D3-Metrologi dan Instrumentasi
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Dr.Ridho Hantoro, ST, MT

Abstrak

Comfort air conditioning is the process of handling the air to regulate temperature, humidity, cleanliness, and distribution for comfortable condition. Comfort air conditioning related with refrigeration, a simulator of air conditioning can generate a comfortable air when part of refrigeration works well. Air Conditioning Laboratory unit Pa Hilton A575 is an air conditioning simulator equipped with a variety of processes such as heating (heating), cooling (cooling), increasing and decreasing water content of air (humidifying-dehumidifying). Therefore we need a design to determine the temperature value in the condenser and evaporator components of Air Conditioning Laboratory unit A575. This research has been conducted design of temperature monitoring system and data acquisition in part of condensor and evaporator air conditioning laboratory unit pa Hilton a575 components using LM35 sensor, arduino uno 328, as a display is LCD 16 x 2 and connecting with visual studio 2010 software and data acquisition using Microsoft access software. The design of measuring system has uncertainties $\pm 0.13^{\circ}\text{C}$ with a 95% confidence level. Based on calculation of temperature value, obtained the COP value 6.04 at condensor temperature 34.50°C and evaporator temperature 29.60°C . The COP values are greater than value of COP ASHARE standard by 3.05. It can be concluded that the refrigeration system that works on the Air Conditioning Laboratory Unit Pa Hilton is still able to function properly.

Keywords : Comfort Air Conditioning, Air Conditioning Laboratory, Temperature

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Akuisisi Data di Komponen Kondensor dan Evaporator pada Air Conditioning Laboratory Unit PA Hilton A575”**. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta, Ibu Imlatul Hasanah, Abi Munawar, adek Achmad Syahid Mikael atas segala dukungan, semangat, serta Do'a yang selalu ada untuk penulis
2. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS, Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwinto., Msc selaku Kepala Prodi D3 Metrologi dan Instrumentasi serta Bapak Ir. Syamsul Arifin M.T. selaku dosen wali penulis yang telah sabar memberikan dukungan, bimbingan, serta ilmu yang sangat bermanfaat.
3. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
5. Seluruh Staf Jurusan Teknik Fisika yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
6. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir Aulia Perdana Sari dan Okky Aggassy Firmansyah terima kasih atas kesabaran, semangat, dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.
7. Teman-teman asisten Laboratorium Pengukuran Fisis angkatan 2011-2013 yang senantiasanya memberi semangat serta bantuan dalam proses pengerjaan tugas Akhir

8. Dina, Ayka, Gamal, Denys, Icha, Rio, dan teman-teman D3 Metrologi dan Instrumentasi (D3mensi) 2012 yang bersedia membagi semangat, motivasi, keceriaan, serta bantuannya dalam proses tugas akhir.
9. Keluarga *Timeless Fidelity* yang senantiasa memberi semangat selama kuliah hingga tugas akhir
10. Riyo Hussain Muhammad yang telah selalu memberi semangat dan dukungannya kepada penulis
11. Serta seluruh Mahasiswa Teknik Fisika ITS yang tidak dapat disebutkan satu persatu terimakasih atas bantuan dan do'anya selama ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 30 Juli 2015

Penulis.

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB I. PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Pengkondisian Udara	5
2.2 Refrigerasi.....	5
2.2.1 Evaporator	7
2.2.2 Kompresor	8
2.2.3 Kondensor	9
2.2.4 <i>Ekspansi Valve</i> (Katup Ekspansi).....	9
2.2.5 <i>Coefficient of Performance (COP)</i>	10
2.2.6 Standar COP ASHARE.....	11
2.2.7 Refrigeran.....	13
2.3 Pengukuran, Kalibrasi dan Ketidakpastian	14
2.3.1 Struktur Sistem Pengukuran	14
2.3.2 Karakteristik Pengukuran.....	15
2.3.3 Kalibrasi.....	18
2.3.4 Analisis Ketidakpastian	19
2.4 Temperatur.....	22
2.5 Sensor LM35.....	22
2.6 <i>Air Conditioning Laboratory Unit PA Hilton A575</i>	23
2.7 Mikrokontroller Arduino	24

2.8 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>) Ukuran 16 x 2	25
2.9 <i>Microsoft Visual Studio 2010</i>	27

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN..... 29

3.1 Diagram Alir Perancangan Alat.....	29
3.2 Keterangan <i>Flowchart</i>	30

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... 43

4.1 Analisa Data.....	43
4.1.1 Hasil Rancang Bangun Sistem Monitoring Temperatur.....	43
4.1.2 Pengujian Alat Ukur.....	45
4.1.3 Data Spesifikasi Alat.....	48
4.1.4 Data Kalibrasi Alat Sistem Monitoring Temperatur.....	51
4.1.5 Monitoring Temperatur di komponen kondensor dan evaporator pada <i>Air Conditioning Laboratory</i> Unit PA Hilton A575.....	55
4.2 Pembahasan	58

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN 61

5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61

DAFTAR PUSTAKA..... 66

LAMPIRAN A (Data Pengujian Alat dan Kalibrasi) A-1

LAMPIRAN B (*Listing Program* Mikrokontroller dan *Microsoft Visual Studio 2010*)..... B-1

LAMPIRAN C (*Datasheet*) C-1

LAMPIRAN D (*Data Monitoring* dan Akuisisi Data Temperatur di komponen kondensor dan evaporator *Air Conditioning Laboratory* Unit PA Hilton A575)..... D-1

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel COP berdasarkan Standar ASHARE	Hal 12
Tabel 2.3	Pin LCD16x2	25
Tabel 4.1	Tabel Data Voltase LM35	45
Tabel 4.2	Data Pengujian Alat	47
Tabel 4.3	Tabel Karakteristik Statik Alat	49
Tabel 4.4	Data Kalibrasi Alat Ukur	51
Tabel 4.5	Tabel Variasi Temperatur pada Kondensor dan Evaporator	56
Tabel 4.6	Tabel Nilai COP _{r,carnot}	57

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Siklus Refrigerasi	6
Gambar 2.2 Komponen Evaporator	7
Gambar 2.3 Komponen Kompresor	8
Gambar 2.4 Komponen Kondensor	9
Gambar 2.5 Komponen Katup Ekspansi	10
Gambar 2.6 Blok Diagram Sistem Pengukuran	14
Gambar 2.7 Grafik Non-Linieritas	17
Gambar 2.8 Grafik Histeresis	17
Gambar 2.9 Definisi Resolusi	18
Gambar 2.10 Sensor LM35	23
Gambar 2.11 Rangkaian LM35 dengan Arduino Uno	23
Gambar 2.12 Skema Peralatan AC <i>Laboratory Unit</i> PA PA Hilton A575	24
Gambar 2.13 <i>Board Arduino Uno</i>	25
Gambar 2.14 Gambar LCD 16x2	27
Gambar 2.15 Tampilan <i>Microsoft Visual Studio 2010</i>	28
Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian Tugas Akhir	30
Gambar 3.2 Rangkaian <i>Non-Inverting</i>	31
Gambar 3.3 Termometer Digital APPA51	32
Gambar 3.4 Diagram Blok Alat Ukur Temperatur	33
Gambar 3.5 Rangkaian Sensor LM35	34
Gambar 3.6 <i>Software Arduino 1.0.6</i>	35
Gambar 3.7 Tampilan Form Awal <i>Software</i>	37
Gambar 3.8 Tampilan Form <i>Login Software</i>	37
Gambar 3.9 Tampilan Menu <i>Software</i>	38
Gambar 3.10 Tampilan Utama Penampil Data Sistem Monitoring Temperatur	38
Gambar 3.11 Tampilan Form Grafik Data Sistem Monitoring Temperatur	39
Gambar 3.12 Tampilan <i>Database</i> pada <i>Microsoft Access</i>	40
Gambar 4.1 Alat Ukur Temperatur	43
Gambar 4.2 <i>Hardware</i> Sistem Monitoring Temperatur	44
Gambar 4.3 <i>Box</i> Sistem Monitoring Temperatur	44
Gambar 4.4 Grafik pengujian voltase dan temperatur	46

Gambar 4.5 Grafik Pembacaan Alat dan Pembacaan Standar Alat Ukur Temperatur 48

Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Pembacaan Alat dan Standar 55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bidang refrigerasi dan pengkondisian udara saling berkaitan satu sama lain. Teknik pengkondisian udara tidak hanya berfungsi sebagai pendingin tetapi lebih daripada itu. Definisi pengkondisian udara nyaman (*comfort air conditioning*) adalah proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur temperatur, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalamnya. Fungsi pengkondisian udara bervariasi antara lain sebagai pengkondisian udara pada bidang industri, laboratorium lingkungan, pengkondisian udara rumah tinggal, pengkondisian udara untuk kendaraan dan lain sebagainya.

Daur refrigerasi merupakan suatu pembatas yang tidak dapat dilebihi jika melakukan kerja diantara dua temperatur tertentu. Mesin carnot menerima energi kalor pada temperatur tinggi, merubah sebagian menjadi kerja, dan kemudian mengeluarkan sisanya sebagai kalor pada temperatur yang lebih rendah. Daur refrigerasi carnot terdiri dari proses-proses *reversible* yang menjadikan efisiensinya lebih tinggi dari yang dapat dicapai oleh daur nyata.

Sebelum menentukan nilai terhadap prestasi suatu sistem refrigerasi, terlebih dahulu harus ditetapkan ukuran keefektifannya. Indeks prestasi ini tidak sama dengan efisiensi, karena ukuran tersebut biasanya hanya menggambarkan perbandingan keluaran dan masukan. Namun, konsep indeks prestasi pada daur refrigerasi sama dengan efisiensi yang menyatakan perbandingan antara jumlah hasil yang diinginkan dengan jumlah pengeluaran. Istilah prestasi di dalam daur refrigerasi disebut dengan koefisien prestasi (*coefficient of performance*). Koefisien prestasi yang tinggi sangat diharapkan karena hal itu menunjukkan bahwa sejumlah tertentu refrigerasi memerlukan sejumlah kerja yang kecil.

Pada daur refrigresi carnot untuk mencapai tingkat koefisien prestasi yang tinggi hendaklah daur refrigerasi carnot bekerja pada temperatur T_1 yang tinggi dan T_2 yang rendah. Temperatur yang berada di komponen kondensor harus selalu dalam kondisi temperatur dimana temperaturnya lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur yang berada di komponen evaporator.

Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan dirancang dan dibangun sistem monitoring dan akuisisi data temperatur di komponen kondensor dan evaporator dimana pada dua tempat itu berada T_1 dan T_2 . Alat ukur ini menggunakan sensor LM35 yang akan mengubah inputan yang berupa temperatur menjadi besaran fisis agar bisa ditampilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini yaitu bagaimana cara merancang dan membangun sistem monitoring dan akuisisi data temperatur di komponen kondensor dan evaporator pada *Air Conditioning Laboratory Unit Pa Hilton A575*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir ini maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut :

1. Alat yang dirancang dan dibangun hanya memiliki fungsi untuk mengukur dan monitoring temperatur di komponen kondensor dan evaporator pada *Air Conditioning Laboratory Unit Pa Hilton A575*.
2. Sensor yang digunakan pada alat ukur ini yaitu sensor LM35.
3. Alat ukur yang hanya memonitoring hasil pengukuran temperatur melalui layar penampil/display.
4. *Software* yang digunakan dalam akuisisi data yaitu *Microsoft Visual Studio 2010* dan *Microsoft Access 2010*

1.4 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini yaitu merancang dan membangun sistem monitoring dan akuisisi data temperatur di komponen

kondensor dan evaporator pada *Air Conditioning Laboratory Unit* PA Hilton A575. Data hasil monitoring digunakan untuk mengetahui nilai koefisiensi performansi dari sistem refrigerasi pada *Air Conditioning Laboratory Unit* PA Hilton A575.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengkondisian Udara

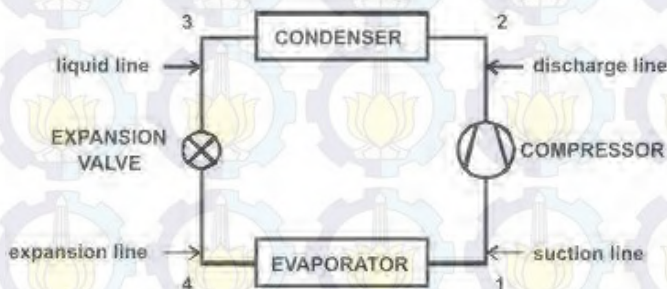
Bidang refrigerasi dan pengkondisian udara saling berkaitan satu sama lain, tetapi masing-masing mempunyai ruang lingkup yang berbeda. Teknik pengkondisian udara tidak hanya berfungsi sebagai pendingin tetapi lebih daripada itu. Definisi pengkondisian udara nyaman (*Comfort air conditioning*) adalah proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalamnya. Fungsi pengkondisian udara bervariasi antara lain sebagai pengkondisian udara pada bidang industri, laboratorium lingkungan, pengkondisian udara rumah tinggal, pengkondisian udara untuk kendaraan dan lain sebagainya.

Heating, Ventilation, Air Conditioning suatu sistem yang terdiri dari tiga kesatuan yaitu pemanasan, ventilasi dan pengkondisian udara yang berfungsi untuk memberikan kenyamanan termal dan menjaga kualitas udara dalam ruangan yang baik. Terkadang HVAC bisa diartikan sebagai kontrol iklim karena memberikan pemanasan, pendinginan, kontrol kelembaban, filtrasi, udara segar, membangun kontrol tekanan, dan kontrol kenyamanan. HVAC memiliki peran penting untuk konsumsi energi di dalam gedung-gedung. Sistem HVAC adalah komponen penting dari bangunan karena dapat mengatur kondisi yang berkaitan dengan kesehatan penghuni seperti tingkat karbondioksida dan tingkat kelembaban serta kenyamanan penghuni seperti suhu dan udara yang mengalir (Schiavon, 2010).

2.2 Refrigerasi

Refrigerasi adalah suatu usaha untuk mencapai atau memperoleh dan menjaga temperatur lebih rendah dari temperatur atmosfer lingkungan atau sama dengan memindahkan panas dari temperatur rendah ke temperatur tinggi dengan melakukan kerja terhadap sistem.

Dalam sistem refrigerasi dikenal dua siklus yaitu siklus kompresi uap dan refrigerasi absorbs. Siklus refrigerasi absorbs memiliki ciri yang sama dengan siklus kompresi-uap tetapi berbeda dalam dua aspek. Pertama dalam hal proses kompresi, refrigerant dalam sistem ini diabsorpsi/diserap oleh zat kedua yang disebut *absorbent* untuk membentuk larutan cair. Larutan cair kemudian dipompa ke tekanan yang lebih tinggi. Karena volume spesifik rata-rata larutan cair lebih rendah dari uap maka kerja yang dibutuhkan juga lebih rendah, karena itu sistem absorpsi mempunyai keuntungan dalam hal kerja input yang kecil dibandingkan terhadap sistem kompresi uap. Perbedaan lainnya yaitu beberapa cara harus dilakukan pada sistem untuk absorpsi untuk mengangkat uap dari larutan cair sebelum refrigerant memasuki kondensor. Cara yang dilakukan mungkin dengan menggunakan sumber panas dari luar seperti panas dari pembakaran gas alam atau bahan.



A
Gambar 2.1. Siklus Refrigerasi

Keterangan Gambar 2.1. :

a. Proses 1-2

Refrigeran meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah, kemudian oleh kompresor, uap tersebut dinaikkan tekanannya menjadi uap super panas dengan temperatur yang tinggi, lebih tinggi dari

temperature lengkungan sehingga pembuangan panas bisa berlangsung.

b. Proses 2-3

Setelah mengalami proses kompresi, refrigeran berada dalam fase panas lanjut dengan tekanan dan temperatur tinggi. Untuk merubah wujudnya menjadi cair (kondensasi), kalor harus dilepaskan ke lingkungan melalui alat yang disebut dengan kondensor. Refrigeran mengalir melalui kondensor pada sisi lain dialirkan fluida pendingin (udara atau air) dengan temperatur lebih rendah dari pada temperatur refrigeran. Oleh karena itu kalor akan berpindah dari refrigeran ke fluida pendingin dan refrigeran akan mengalami penurunan temperatur dari kondisi uap panas lanjut menuju kondisi uap jenuh, selanjutnya mengalami proses pengembunan menjadi refrigeran cair. Refrigeran keluar kondensor sudah berupa refrigeran cair. Proses kondensasi berlangsung pada temperature dan tekanan yang konstan.

c. Proses 3-4

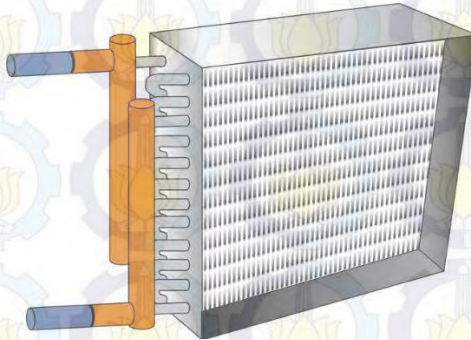
Refrigeran dalam keadaan wujud cair jenuh (tingkat keadaan 3) kemudian mengalir melalui alat ekspansi. Refrigeran mengalami ekspansi pada entalpi konstan dan berlangsung secara tak reversibel sehingga tekanan refrigeran menjadi rendah (tekanan evaporator). Refrigeran keluar alat ekspansi berwujud campuran uap-cair pada tekanan dan temperatur rendah.

d. Proses 4-1

Refrigeran dalam fase campuran uap-cair, mengalir melalui evaporator. Di dalam evaporator refrigeran mengalami proses penguapan sebagai akibat dari panas yang diserap dari sekeliling evaporator. Dengan adanya penyerapan panas ini, maka disekeliling evaporator (ruangan yang dikondisikan) menjadi dingin atau temperaturnya turun. Selanjutnya refrigeran yang meninggalkan evaporator dalam fase uap jenuh. Proses penguapan tersebut berlangsung pada temperatur dan tekanan yang konstan.

2.2.1 Evaporator

Evaporator berfungsi sebagai penukar kalor, energi penguapan refrigeran yang berasal dari katup ekspansi. Penguapan ini bertujuan untuk mengambil panas dari bahan atau ruangan yang akan didinginkan.



Gambar 2.2. Komponen Evaporator

Sebuah evaporator dalam sistem refrigerasi adalah suatu pesawat penukar kalor yang memindah kalor dari zat-zat yang didinginkan ke refrigeran. Pada prinsipnya perpindahan panas yang terjadi dalam evaporator sama dengan perpindahan panas yang terjadi pada kondensor. Hanya saja di dalam kondensor, panas dilepas atau dibuang oleh refrigeran ke media pendingin kondensor sedangkan di dalam evaporator kalor diserap oleh refrigeran dari media yang didinginkan. Evaporator dapat dibagi ke dalam beberapa golongan sesuai dengan keadaan refrigeran yang ada didalamnya yaitu: Jenis ekspansi kering (Dry atau direct expansion evaporator) dan evaporator jenis basah (Flooded evaporator). Pada evaporator jenis ekspansi kering, cairan refrigeran yang diekspansikan melalui katup ekspansi, pada waktu masuk ke dalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap sehingga keluar dari evaporator dalam keadaan uap kering. Oleh karena sebagian dari evaporator terisi oleh uap refrigeran maka perpindahan kalor yang terjadi tidak begitu besar jika dibandingkan dengan keadaan dimana evaporator terisi oleh refrigeran cair.

2.2.2 Kompresor

Kompresor adalah bagian yang terpenting dari mesin refrigerasi. Pada tubuh manusia, kompresor dapat diumpamakan sebagai jantung yang memompa darah ke seluruh tubuh kita. Dalam mesin refrigerasi, kompresor menekan refrigeran ke semua bagian dari sistim. Kompresor ini bekerja membuat perbedaan tekanan sehingga refrigeran dapat mengalir dari satu bagian ke bagian lainnya dari sistim. Karena adanya perbedaan tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah maka refrigeran cair dapat mengalir melalui alat pengatur refrigeran (Alat ekspansi) ke evaporator. Tekanan gas di evaporator harus lebih tinggi dari pada tekanan gas dalam saluran hisap, agar gas dingin dari evaporator dapat mengalir melalui saluran isap kompresor. Gas dingin tersebut di dalam kompresor hermetic berguna untuk mendinginkan kumparan motor listrik dan minyak pelumas kompresor. Kompresor pada sistim refrigerasi berguna untuk :

1. Menurunkan tekanan di dalam evaporator sehingga refrigeran cair di evaporator dapat menguap pada suhu yang lebih rendah dan menyerap panas lebih banyak dari ruangan di dekat evaporator.
2. Menghisap refrigeran gas dari evaporator pada suhu dan tekanan rendah lalu memampatkan gas tersebut sehingga menjadi gas bertekanan dan bersuhu tinggi. Kemudian mengalirkannya ke kondensor hingga gas tersebut berubah fase menjadi cair (pengembunan) dengan melepaskan panas refrigeran ke lingkungan atau kepada zat yang mendinginkan kondensor.



Gambar 2.3. Komponen Kompresor

Tiga jenis kompresor yang umum digunakan antara lain, kompresor *reciprocating*, sentrifugal dan *rotary*. Kompresor *reciprocating* berisi piston yang bergerak bolak-balik di dalam silinder. *Reciprocating* kompresor yang paling sering digunakan dan bervariasi dalam kapasitas dari sebagian kecil dari satu ton untuk 100 ton refrigerasi per unit. Kompresor sentrifugal berisi *impeller* dengan berbagai pisau yang berputar pada kecepatan tinggi. *Rotary* kompresor melibatkan baling-baling yang berputar di dalam silinder. Kompresor dapat dioperasikan dengan motor listrik atau mesin pembakaran internal.

2.2.3 Kondensor

Kondensor berfungsi dalam sistem pendinginan untuk mentransfer panas dari refrigeran ke media lain seperti udara atau air. Dengan membuang panas, pendingin gas mengembun menjadi cairan di dalam kondensor.



Gambar 2.4. Komponen Kondensor

Jenis kondensor yang biasa digunakan adalah kondensor berpendingin air, *Aircolled* dan menguapkan. Dalam kondensor yang berfungsi untuk menguapkan media yang digunakan yaitu udara dan air. Tiga jenis umum dari kondensor berpendingin air adalah pipa ganda, *shell and tube* dan *shell and coil*. Dalam kondensor pipa ganda, air di dalam pipa dipompa dan refrigeran mengalir dari pipa luar. Kondensor berpendingin udara dapat berupa tabung dan sirip atau sejenis plat sirip pada tabung. Sirip pada tabung memungkinkan area perpindahan panas yang besar. Kondensor piring tidak memiliki sirip, sehingga membutuhkan daerah permukaan yang jauh lebih besar.

2.2.4 Ekspansi Valve (Katup Ekspansi)

Katup ekspansi pada dasarnya adalah sebuah perangkat matering yang mengontrol aliran refrigeran cair ke evaporator. Katup dioperasikan secara manual atau dengan tekanan serta temperatur pada lokasi yang diinginkan dalam sistem pendingin. Jenis umum dari perangkat matering yang digunakan dalam sistem pendingin meliputi katup ekspansi yang dioperasikan secara manual, katup ekspansi dengan kerja otomatis sisi rendah katup mengambang, katup ekspansi dengan kerja otomatis sisi tinggi katup mengambang, katup ekspansi otomatis dan termostatik katup ekspansi.



Gambar 2.5. Komponen Katup Ekspansi

Secara sederhana, katup ekspansi yang diopersikan secara manual memungkinkan jumlah yang diinginkan dari airan

refrigeran cair yang bertekanna tinggi ke refrigerant gas atau cair yang bertekanan rendah. Panas yang diberikan oleh refrigeran cair diserap untuk mengkonversi beberapa cairan menjadi uap. Tekanan rendah mengembangkan katup otomatis yang digunakan dalam evaporator.

2.2.5 Coefficient of Performance (COP)

Suatu pengukuran keefektifan dari sebuah refrigerator adalah koefisien prestasi (COP) didefinisikan sebagai energi yang dibuang dari sumber dibagi dengan kerja yang diperlukan untuk membuang sejumlah energi, yang didefinisikan pada persamaan berikut ini:

$$\text{Koefisien prestasi COP} = \frac{\text{Refrigeran bermanfaat}}{\text{Kerja Bersih}} \quad (2.1)$$

Koefisien prestasi yang tinggi sangat diharapkan karena hal itu menunjukkan bahwa sejumlah tertentu refrigerasi hanya memerlukan sejumlah kecil kerja (Jones, 2012). Refrigerasi bermanfaat sama dengan perpindahan kalor pada proses 4-1 atau daerah dibawah garis 4-1. Perbedaan antara kalor yang dikeluarkan dari daur dan kalor yang ditambahkan kedalam daur adalah kalor bersih (*net heat*), yang untuk proses melingkar sama dengan kerja bersih. Oleh karena itu koefisien prestasi pada daur refrigerasi carnot adalah,

$$\text{Koefisien Prestasi Carnot (COP}_r) = \frac{1}{T^2/T_1 - 1} \quad (2.2)$$

Koefisien prestasi daur carnot secara ekseluruhan merupakan fungsi batas-batasan suhu, dan dapat bervariasi dari nol hingga tak hingga. Harga T_1 memiliki harga yang lebih rendah dibandingkan dengan harga T_2 .

2.2.6 Standar COP ASHARE

Berdasarkan Standar ASHARE mengenai Standar COP yang dikehendaki untuk sebuah sistem refrigerasi, berikut pada tabel 2.1. merupakan standar nilai-nilai COP yang diijinkan pada sebuah sistem refrigerasi sesuai dengan sistem refrigerasi yang

digunakan. Standar ini berfungsi untuk menentukan apakah sistem refrigerasi tersebut masih berjalan dengan baik atau memerlukan perbaikan.

Tabel 2.1. COP berdasarkan Standar ASHARE

Equipment Type	Size Category	Heating Section Type	Subcategory or Rating Condition	Minimum Efficiency ^a
Air conditioners, water cooled	<65,000 Btu/h	All	Split system and single package	12.1 EER 12.3 IEER
		Electric resistance (or none)	Split system and single package	11.5 EER (before 6/1/2011) 12.1 EER (as of 6/1/2011) 11.7 IEER (before 6/1/2011) 12.3 IEER (as of 6/1/2011)
	≥65,000 Btu/h and <135,000 Btu/h	All other	Split system and single package	11.3 EER (before 6/1/2011) 11.9 EER (as of 6/1/2011) 11.5 IEER (before 6/1/2011) 12.1 IEER (as of 6/1/2011)
		Electric resistance (or none)	Split system and single package	11.0 EER (before 6/1/2011) 12.5 EER (as of 6/1/2011) 11.2 IEER (before 6/1/2011) 12.5 IEER (as of 6/1/2011)
	≥135,000 Btu/h and <240,000 Btu/h	All other	Split system and single package	10.8 EER (before 6/1/2011) 12.3 EER (before 6/1/2011) 11.0 IEER (before 6/1/2011) 12.5 IEER (before 6/1/2011)
		Electric resistance (or none)	Split system and single package	11.0 EER (before 6/1/2011) 12.4 EER (as of 6/1/2011) 11.1 IEER (before 6/1/2011) 12.6 IEER (as of 6/1/2011)
	≥240,000 Btu/h and <760,000 Btu/h	All other	Split system and single package	10.8 EER (before 6/1/2011) 12.2 EER (as of 6/1/2011) 10.9 IEER (before 6/1/2011) 12.4 IEER (as of 6/1/2011)
		Electric Resistance (or None)	Split system and single package	11.0 EER (before 6/1/2011) 12.2 EER (as of 6/1/2011) 11.1 IEER (before 6/1/2011) 12.4 IEER (as of 6/1/2011)
	≥760,000 Btu/h	All other	Split system and single package	10.8 EER (before 6/1/2011) 12.0 EER (as of 6/1/2011) 10.9 IEER (before 6/1/2011) 12.2 IEER (as of 6/1/2011)

2.2.7 Refrigeran

Efisiensi mesin carnot bergantung pada kerja dari medium. Serupa dengan hal itu, *Coefficient of Performance* dari refrigerator Carnot bergantung pada refrigerannya. Refrigeran yang diinginkan adalah yang memiliki sifat kimia, fisik, dan termodinamik yang

dapat memberikan aplikasi yang efisien. Karakteristik refrigeran seperti toksitas, kemudahan terbakar, harga, sifat korosi, ataupun tekanan uapnya sangat penting dalam pemeliharaan refrigerant. Namun belum ada satupun refrigerant yang terbukti memberikan kinerja yang ideal dibawah berbagai kondisi operasi. Refrigeran yang sering dipakai untuk suatu percobaan sederhana tentang refrigerasi adalah refrigerant 22, selain itu adalah udara, ammonia, karbon dioksida, metil klorida, sulfur dioksida, hidrokarbon, dan lain-lain.

Refrigeran-22 (R22) atau CHClF_2 (*Chlorodifluoromethane*) tidak mudah terbakar pada temperatur ruang atau tekanan atmosfer. Walaupun refrigeran ini akan mudah terbakar saat bercampur dengan udara bertekanan rendah dan saat berada didekat sumber api. Refrigeran-22 memiliki sifat fisik dan sifat kimia yang khusus, yang memberikan kelebihan dan kekurangan pada penggunaannya.

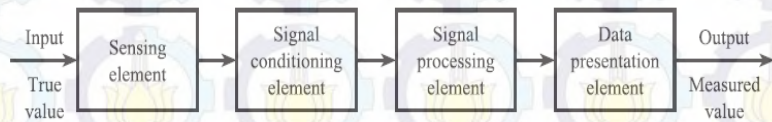
2.3 Pengukuran, Kalibrasi dan Ketidakpastian

Suatu proses operasi yang bertujuan untuk memperoleh nilai dalam suatu besaran disebut pengukuran (Hadisupadmo, 2012). Dalam melakukan pengukuran, pasti dibutuhkan suatu *instrument* atau alat ukur untuk mempermudah manusia dalam mendapatkan nilai dalam besaran tersebut dengan kondisi yang sesuai pada saat dilakukannya pengukuran. Beberapa komponen penting dalam pengukuran yaitu material/bahan, *instrument*, pelaku pengukuran metode pengukuran, serta kondisi lingkungan ketika melakukan pengukuran. Komponen penting dalam pengukuran akan mempengaruhi hasil perhitungan ketidakpastian dari alat ukur tersebut. Terdapat dua jenis metode pengukuran, yaitu pengukuran langsung dan pengukuran tak langsung. Dimana, pengukuran langsung merupakan pengukuran yang dilakukan pada alat ukur yang sama, kondisi lingkungan yang sama serta waktu yang bersamaan. Sedangkan pengukuran tidak langsung merupakan pengukuran yang dilakukan pada kondisi yang berbeda, dimana terjadi pergantian alat ukur maupun terjadi perubahan lingkungan serta pada saat pengukuran diperoleh nilai sebenarnya sesuai

besaran yang diukur (dilakukan konversi dari besaran satu ke besaran yang diukur dan memiliki besaran yang berbeda).

2.3.1 Struktur Sistem Pengukuran

Berikut ini merupakan struktur penyusunan sistem pengukuran secara umum yang digambarkan pada sebuah diagram blok pada Gambar 2.6.:



Gambar 2.6. Blok Diagram Sistem Pengukuran (Bentley, 2005)

Berdasarkan blok diagram pada Gambar 2.6, berikut merupakan penjelasan mengenai setiap komponen diagram blok tersebut:

- *Input* adalah besaran yang diukur sesuai dengan nilai sebenarnya.
- *Sensing element* / elemen penyensor adalah suatu elemen yang berhubungan langsung dengan proses dan memberikan *output* sesuai variabel besaran yang terukur.
- *Signal conditioning element* / elemen pengondisian sinyal adalah elemen yang mendapatkan *input* dari *output* pengondisian sinyal yang kemudian dikonversi ke bentuk yang sesuai dengan sinyal elemen penampil agar data diproses ke data selanjutnya.
- *Data presentation element* / elemen penampil data adalah suatu elemen sebagai penampil hasil nilai pengukuran yang dapat dilihat atau dikenali oleh pengamat.

2.3.2 Karakteristik Pengukuran

Dalam sistem pengukuran terdapat 2 tipe karakteristik yang dapat mempengaruhi semua peforma pada sistem. Dua tipe karakteristik tersebut adalah:

a. **Karakteristik Statik** yaitu karakteristik dari suatu *instrument* / alat ukur yang tidak bergantung waktu. Karakter *instrument* yang termasuk pada karakteristik statik yaitu :

- *Range* / Jangkauan adalah nilai minimum dan maksimum dari *input* ataupun *output* spesifikasi *instrument* (Rentang: $I/O_{min} - I/O_{maks}$).
- *Span* / Range adalah rentang variasi maksimum dari *input* ataupun *output* (Rentang *input* : $I_{max} - I_{min}$, sedangkan Rentang *output* = $O_{max} - O_{min}$)
- *Ideal straight line* / Linieritas adalah suatu elemen dikatakan linier ketika hubungan nilai *input* dan *output* menampilkan garis lurus. Dimana dalam garis lurus tersebut dihubungkan melalui 2 titik, yaitu titik minimum dari selisih *input* minimum dan *output* minimum ($I_{min} - O_{min}$) serta titik maksimum dari selisih *input* maksimum dan *output* maksimum ($I_{maks} - O_{maks}$). Berikut ini persamaan linieritas :

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}} \right] (I - I_{min}) \quad (2.3)$$

$$O_{ideal} = KI + a \quad (2.5)$$

Dimana:

$$K = \text{Kemiringan garis lurus ideal} = \frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}}$$

$$a = \text{Koefisien garis lurus ideal} \\ = O_{min} - KI_{min}$$

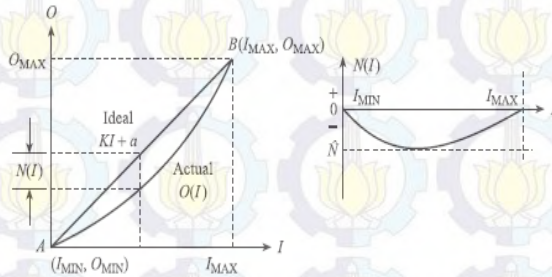
- *Non-linieritas* adalah dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut *non-linier* atau tidak linier. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* / nyata dengan garis lurus idealnya. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$N(I) = O(I) - (KI + a) \quad (2.6)$$

$$O(I) = KI + a + N(I) \quad (2.7)$$

Sedangkan untuk persamaan dalam bentuk prosentase dari defleksi skala penuh, prosentase maksimum Non-Linieritas dari defleksi skala penuh adalah

$$\frac{\hat{N}}{O_{maks} - O_{min}} \times 100\% \quad (2.8)$$



Gambar 2.7. Grafik non-linieritas (Bentley, 2005)

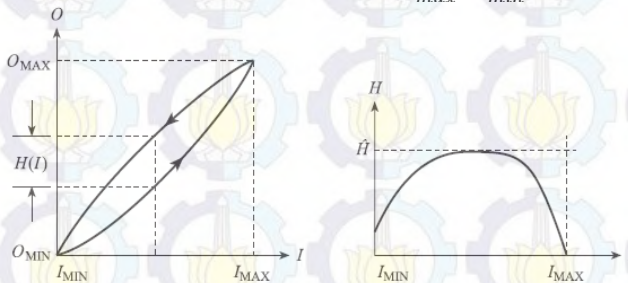
- Sensitivitas adalah penunjukan kepekaan sensor terhadap pengukuran (LPF, 2013). Sensitivitas merupakan perubahan selisih output dari setiap perubahan selisih input.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \quad (2.9)$$

- *Hysteresis* merupakan perbedaan tertinggi antara 2 nilai *output* dari pengukuran naik dan turun.

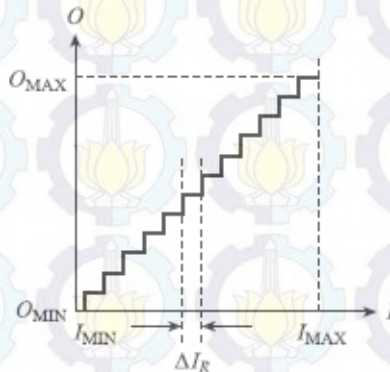
$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow} \quad (2.10)$$

$$\% \text{ Maksimum Hysteresis} = \frac{\hat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \quad (2.11)$$



Gambar 2.8. Grafik hysteresis (Bentley, 2005)

- Resolusi merupakan perubahan terbesar dari input yang dapat terjadi tanpa adanya perubahan pada *output*.



Gambar 2.9. Definisi resolusi (Bentley, 2005)

- Akurasi: nilai kedekatan antara nilai dari besaran yang terukur dengan nilai yang sebenarnya. (*ISO GUM B 2.15*; *VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23)

a. Karakteristik Dinamik

Karakteristik yang menyatakan respon sistem ketika transien pada *input* konstan serta pada saat *input* berubah terhadap waktu. Karakteristik orde dalam instrument ada 4 macam, yaitu:

- Instrumen Orde Nol, instrumen yang memiliki karakter dari sensitivitasnya, (K) (Perbandingan *output* dan *input*).
- Instrumen Orde Satu, instrumen yang memiliki karakter dari sensitivitasnya (K) dan Konstanta waktu (τ).
- Instrumen Orde Dua, instrumen yang memiliki karakter dari sensitivitasnya (K) dan 2 macam konstanta waktu (τ_1 dan τ_2).
- Instrumen Orde Tinggi, instrumen yang memiliki karakter seperti instrumen orde nol, orde satu, atau orde dua namun ditambah dengan waktu mati (Handoko, 2010).

2.3.3 Kalibrasi

Menurut ISO/IEC *Guide* 17025:2005 dan *Vocabullary of International Metrology* (VIM), kalibrasi adalah kegiatan yang menghubungkan antara nilai yang terukur oleh suatu instrumen ukur atau sistem pengukuran atau yang diwakili K oleh bahan ukurnya dengan nilai yang telah diketahui dari besaran yang diukur dalam keadaan tertentu. Tujuan kalibrasi yaitu mendukung adanya sistem mutu di industri pada peralatan laboratorium dan peralatan produksi yang ada serta untuk mengetahui besar perbedaan antara nilai yang terukur dengan nilai sebenarnya (LIPI, 2009).

- a. Prinsip dasar kalibrasi, yaitu :
 - Obyek ukur (*Unit Under Test*)
 - Standar ukur (mulai dari alat hingga metode yang dilaksanakan)
 - Teknisi bersertifikat
 - Pengondisian lingkungan yang sesuai standart
- b. Hasil dari perlakuan kalibrasi, yaitu :
 - Mendapatkan nilai obyek ukur
 - Nilai koreksi atau penyimpangan
 - Nilai ketidakpastian
 - Serta sifat metrologi yang lain, seperti faktor kalibrasi dan kurva kalibrasi (LIPI, 2009)

2.3.4 Analisis Ketidakpastian

Ketidakpastian adalah nilai ukur sebaran kelayakan yang dapat dihubungkan dengan nilai terukurnya. Dimana di dalam nilai sebaran tersebut terdapat nilai rentang yang menunjukkan nilai sebenarnya.

- a. Klasifikasi ketidakpastian, antara lain :
 - **Tipe A** merupakan nilai ketidakpastian yang dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B* 2.15; VIM 3.5 dalam KAN DP.01.23). Di dalam tipe ini dilakukan pengukuran sebanyak n kali, dimana dari pengukuran tersebut akan mendapatkan nilai rata-rata, standar deviasi, dan data keterulangan. Dimana rumus umum ketidakpastian tipe A sebagai berikut :

$$- U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ (Ketidakpastian hasil pengukuran)} \quad (2.12)$$

Dimana:

σ = Standart deviasi koreksi

n = Jumlah data

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \quad (2.13)$$

$$- U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \text{ (Ketidakpastian regresi)} \quad (2.14)$$

Dimana:

SSR (*Sum Square Residual*) = \sum SR (*Square Residual*)

SR = R^2 (*Residu*)

$$Y_i \text{ (Nilai koreksi)} = t_i - x_i \quad (2.15)$$

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \quad (2.16)$$

$$a = \bar{y}_i + (b \times \bar{t}_i) \quad (2.17)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y_i \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}, \quad (2.18)$$

Dimana:

Ti = Pembacaan standar

Xi = Pembacaan alat

Yi = Nilai koreksi

- **Tipe B** merupakan nilai ketidakpastian yang tidak dilihat dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5 dalam KAN DP.01.23*). Berikut merupakan rumus umum dari ketidakpastian tipe B :

$$- U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} \quad (2.19)$$

$$- U_{B2} = \frac{a}{k} \quad (2.20)$$

Dimana:

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian dari alat standar/kalibrator

- **Ketidakpastian Baku Gabungan (Kombinasi)**

Ketidakpastian baku gabungan disimbolkan dengan U_c , dimana nilai ketidakpastian yang digunakan untuk mewakili

nilai estimasi standar deviasi dari hasil pengukuran. Nilai ketidakpastian baku gabungan didapat dari menggabungkan nilai-nilai ketidakpastian baku dari setiap taksiran masukan (hukum propagasi ketidakpastian) (*ISO GUM B 2.15*; *VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23).

Berikut merupakan rumus umum ketidakpastian baku gabungan:

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \quad (2.21)$$

Dimana:

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

U_{A1} = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran

U_{A2} = Nilai ketidakpastian regresi

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian kalibrator

• Derajat Kebebasan Efektif

Derajat kebebasan efektif ini berfungsi sebagai pemilihan faktor pengali untuk distribusi *Student's T* serta sebagai penunjuk perkiraan kehandalan ketidakpastian (*ISO GUM B 2.15*; *VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Derajat kebebasan disimbolkan dengan v , dengan rumus sebagai berikut:

$$V = n - 1 \quad (2.22)$$

Dimana:

n = Jumlah data

Sedangkan untuk derajat kebebasan efektif merupakan estimasi dari derajat kebebasan ketidakpastian baku gabungan yang dirumuskan sebagai berikut (rumus *Welch-Setterthwaite*):

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \quad (2.23)$$

Dimana:

V_{eff} = Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi

v_i = Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke- i

U_i = Hasil ketidakpastian tipe A dan B

Setelah ditentukan nilai derajat kebebasan efektif, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor cakupan sesuai dengan tingkat kepercayaan yang diinginkan, dimana faktor cakupan (k) didapat dari tabel *T-students*.

- **Ketidakpastian Diperluas, U_{exp}**

Ketidakpastian diperluas merupakan akhir nilai ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan tingkat keyakinan mengenai daerah nilai sebenarnya pada suatu pengukuran (LPF, 2013).

$$U_{exp} = k \times U_c \quad (2.24)$$

Dimana:

k = Faktor cakupan

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

2.4 Temperatur

Temperatur termasuk salah satu sifat yang dimiliki oleh suatu zat atau benda. Temperatur merupakan ukuran intensitas atau level dari tekanan thermis yang dimiliki oleh suatu benda. Suhu tinggi menunjukkan adanya tekanan thermis pada level yang tinggi pula. Sebaliknya, suhu rendah menunjukkan adanya tekanan thermis yang rendah pada benda tersebut. Pada kondisi itu, kita menyebut benda itu mengalami pendinginan.

Kini semakin jelaslah, bahwa nilai temperatur benda merupakan indek dari kecepatan gerak molekul yang ada pada benda tersebut. Menurut teori kinetik, bila penurunan energi internal pada suatu benda berlangsung terus-menerus sehingga nilai energi kinetik internal turun hingga mencapai zero atau nol, maka suhu benda dinyatakan turun ke nilai nol absolut (*absolute zero*), yaitu sebesar $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan pergerakan molekul benda akan berhenti total.

2.5 Sensor LM35

LM35 adalah sebuah sensor temperatur yang merubah besaran tegangan atau volt menjadi nilai temperatur yang sesuai. Sensor ini mempunyai *range* pengukuran dari -55°C sampai

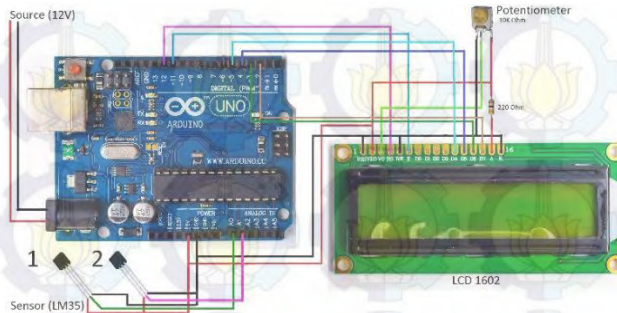
dengan 150°C. Sedangkan akurasi pengukuran temperatur $\pm 0.25^\circ\text{C}$ pada temperatur ruangan dan $\pm 0.75^\circ\text{C}$ pada kisaran -55°C sampai dengan $+150^\circ\text{C}$. Sensor temperatur LM35 berfungsi untuk mengubah besaran fisis yang berupa temperatur menjadi besaran elektrik tegangan (Mitchel E. 1994). Sensor ini memiliki parameter bahwa setiap kenaikan 1°C tegangan keluarannya naik sebesar 10mV dengan batas maksimal keluaran sensor adalah 1,5V pada temperatur 150°C .

Alat ini akan melakukan *sensing element* dengan tingkat keakurasian yang tinggi dalam mengukur temperatur pada tugas akhir yang akan dibuat. Berikut merupakan bentuk fisik dari sensor LM35 yang memiliki 3 buah kaki atau pin, pin pertama yang berfungsi sebagai *input*, pin kedua berfungsi sebagai *output*, dan pin ketiga berfungsi sebagai *ground*.



Gambar 2.10. Sensor LM35

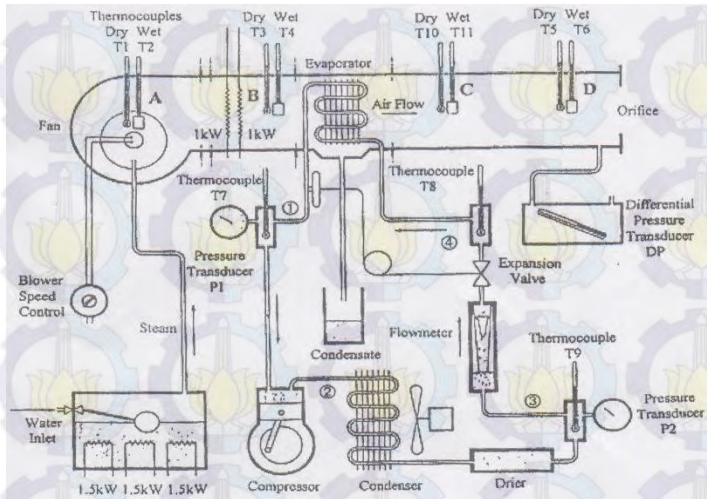
Dalam penggunaannya LM35 dirangkain dengan menggunakan Arduino dan sebagai tampilan menggunakan LCD 2x16. Berikut adalah gambar rangkaian LM35 dengan menggunakan Arduino Uno:



Gambar 2.11. Rangkaian LM35 dengan Arduino Uno

2.6 *Air Conditioning Laboratory Unit PA Hilton A575*

Air Conditioning Laboratory Unit atau yang biasa disebut dengan *Ac Lab. Unit* merupakan sebuah simulator pengkondisian udara yang dilengkapi dengan berbagai proses-proses psikometrik. Proses-proses psikometrik seperti pemanasan (*heating*), pendinginan (*cooling*), penambahan dan pengurangan kandungan air (*humidifying - dehumidifying*). *Ac Lab. Unit* terdiri atas komponen-komponen penyusun pengkondisian udara, seperti kompresor, kondensor, evaporator, *heater*, *blower fab* dan *water heating*. Selain untuk mensimulasikan sistem-sistem pengkondisian udara, juga dapat dilakukan pengukuran yang berkaitan dengan pengkondisian udara seperti temperatur dan kelembaban, tekanan dan lain-lain. Berikut adalah gambar skema peralatan *AC Laboratory Unit PA Hilton A575*:



Gambar 2.12. Skema Peralatan AC Laboratory Unit PA Hilton A575

2.7 Mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler adalah sebuah chip terintegrasi yang biasanya menjadi bagian dari sebuah *embedded system* (sistem yang didesain untuk melakukan satu atau lebih fungsi khusus yang *real time*) (Handjoko, 2012).

Arduino adalah suatu sistem pengendali berukuran mikro yang sumber kodenya dapat diakses secara umum (*open-source*), perancangan Arduino dibuat untuk mempermudah dalam penggunaan elektronik dalam segala bidang. Pada *hardware* Arduino menggunakan *processor* berbasis AVR dari pabrikan ATMELE dan *software* Arduino menggunakan bahasa pemrograman tersendiri serta dapat dijalankan pada OS (*Operating System*) *linux*, *windows*, serta *mac*.



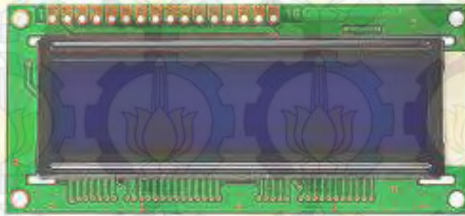
Gambar 2.13. Board Arduino Uno

Di dalam Arduino telah diberikan *bootloader* serta standar pin I/O. Arduino memiliki beberapa macam, namun pada bahasan ini menggunakan jenis *Arduino Uno USB Microcontroller (ATMEGA 328)*. *Arduino Uno Microcontroller (ATMEGA 328)* adalah suatu mikrokontroler yang menggunakan *ATMEGA 328* dengan fitur yang dimiliki yaitu 14 pin *input/output* digital (0-13) berfungsi sebagai input atau output, pada pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11 dapat berfungsi sebagai pin *analog output* dimana tegangan outputnya dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan. Nilai sebuah pin *output analog* dapat diprogram antara 0 – 255, dimana nilai tersebut mewakili nilai tegangan 0 – 5 V. Terdapat 6 buah pin *input analog* yaitu 0-5 yang berfungsi untuk membaca tegangan yang dihasilkan oleh sensor analog yang membaca nilai sebuah pin input antara 0 – 1023, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0 – 5 V.

2.8 LCD (*Liquid Crystal Display*) Ukuran 16x2

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah komponen elektronika yang digunakan sebagai penampil data berupa data karakter, huruf, angka hingga grafik. LCD sudah berupa modul yang siap untuk digunakan dengan harga yang murah serta dapat menampilkan banyak bentuk data dengan pemrograman yang lebih mudah dibandingkan dengan komponen penampil elektronik lainnya. Di dalam LCD ini memiliki beberapa pin data, pengatur kecerahan

layar atau kontras layar, serta pengendali catu daya (Nur, 2012). Berikut adalah gambar dari LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2:



Gambar 2.14. Gambar LCD 16x2

Pada tabel dibawah ini tabel pin dari LCD 16x2:

Tabel 2.3. Pin LCD 16x2

Pin	Symbol	I/O	Deskripsi
1	VSS	--	<i>Ground</i>
2	VCC	--	Daya Masukan + 5 V
3	VEE	--	Sumber daya untuk pengaturan kecerahan tampilan
4	RS	I	Daftar Pilihan RS (<i>Register Select</i>) = 0 untuk pilihan instruksi. RS = 1 untuk pilihan data.
5	R/W	I	R/W(<i>Read/Write</i>) = 0 untuk menulis perintah, R/W= 1 untuk membaca atau menjalankan perintah
6	E	I	<i>Enable</i>
7	DB0	I/O	(tidak disambungkan kemanapun karena menggunakan data 4 bit)
8	DB1	I/O	(tidak disambungkan kemanapun karena menggunakan data 4 bit)
9	DB2	I/O	(tidak disambungkan kemanapun karena menggunakan data 4 bit)
10	DB3	I/O	(tidak disambungkan kemanapun karena menggunakan data 4 bit)

Tabel 2.3. Lanjutan

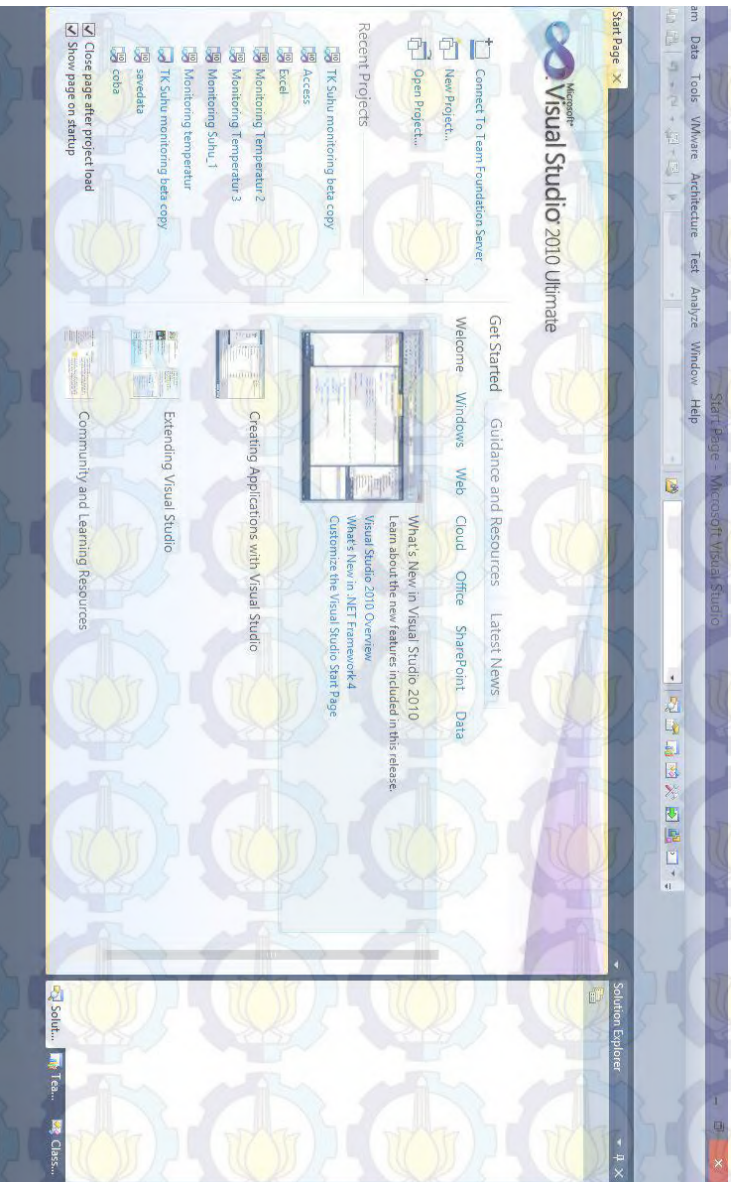
Pin	Simbol	I/O	Deskripsi
11	DB4	I/O	Data 4 bit
12	DB5	I/O	Data 4 bit
13	DB6	I/O	Data 4 bit
14	DB7	I/O	Data 4 bit
15	LED +	--	VCC
16	LED -	--	Ground

2.9 *Microsoft Visual Studio 2010*

Microsoft Visual Studio.NET merupakan sekumpulan pengembangan peralatan untuk pembuatan aplikasi *web*, *ASP.NET*, *XML Web Services*. Terdapat beberapa bahasa pemrograman di dalam *Visual Studio* antara lain bahasa pemrograman *.NET* yaitu *Visual Basic*, *Visual C++*, *Visual C#(CSharp)*, dan *Visual J#(JSharp)*.

Dalam tugas akhir ini menggunakan *Visual Basic.NET* sebagai bahasa pemrogramannya, dimana bahasa pemrograman yang dapat digunakan sebagai pembangun aplikasi-aplikasi *.NET* di *Microsoft.NET*. *Microsoft Visual* yang digunakan yaitu *Microsoft Visual Studio 2010*.

Di dalam *Microsoft Visual Studio 2010* terdapat beberapa perintah atau pengintegrasian yang dapat dilakukan seperti pembuatan database dengan menggunakan *Microsoft Access* sebagai media penyimpanan data, atau menggunakan *Microsoft Excel* sebagai penampil data dalam bentuk yang lain, dan sebagainya. Berikut merupakan tampilan dari *Microsoft Visual Studio 2010* :



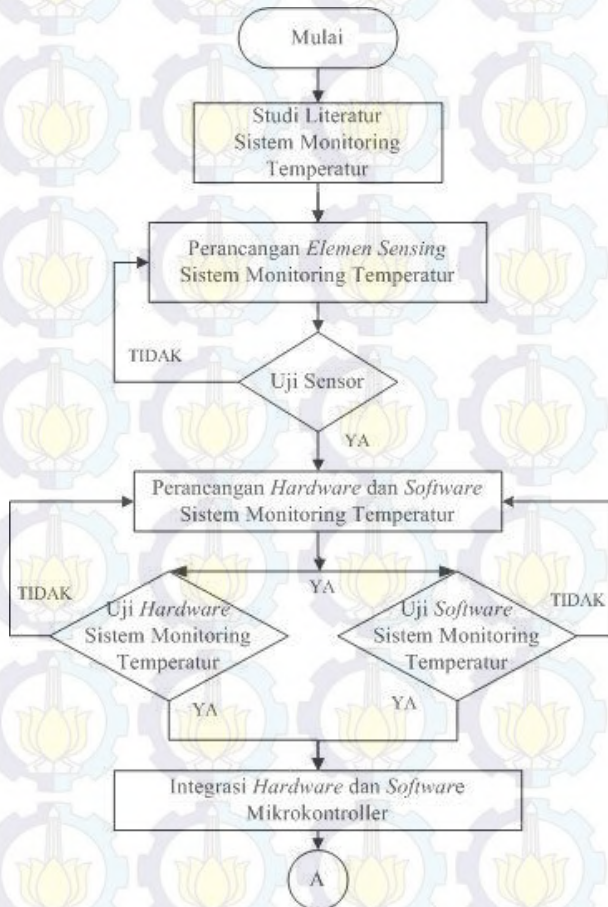
Gambar 2.15. Tampilan *Microsoft Visual*

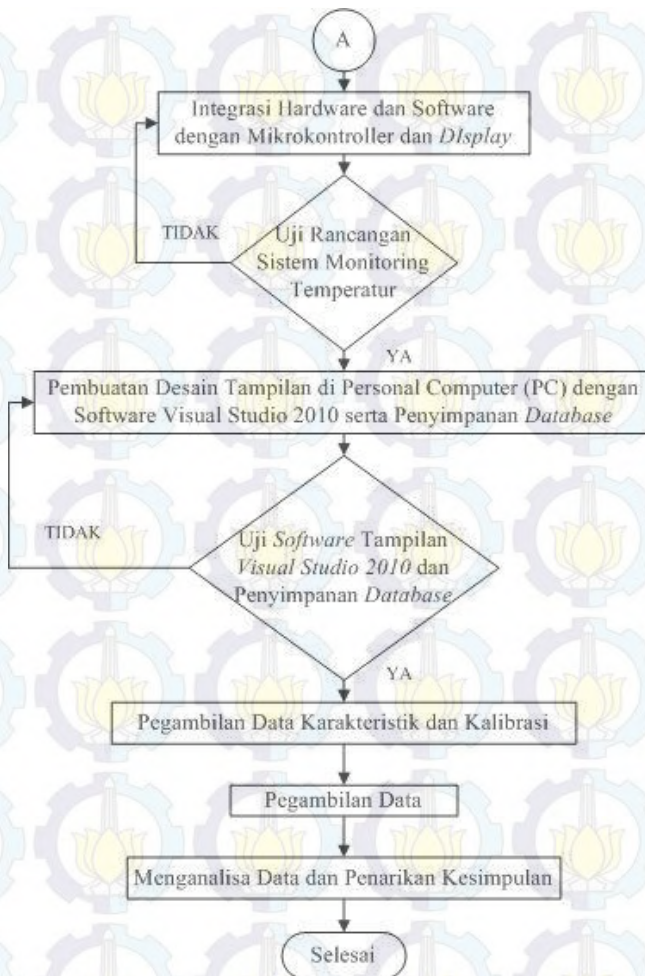
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Perancangan Alat

Secara umum tahapan-tahapan dalam perancangan alat yang digunakan pada tugas akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir seperti Gambar 3.1. dibawah ini.





Gambar 3.1. Skema Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

3.2 Keterangan Flowchart

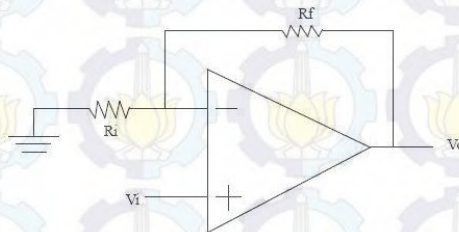
3.2.1 Studi Literatur Sistem Monitoring Temperatur

Pada perancangan alat dari sistem monitoring temperatur dilakukan pengumpulan informasi melalui pembelajaran dari berbagai sumber yang dijadikan literatur seperti jurnal penelitian

yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai sistem monitoring temperatur serta buku-buku ilmiah yang terkait dengan sistem monitoring temperatur. Pada perencanaan perancangan alat ini dilakukan pengumpulan informasi mengenai karakteristik dari temperatur yang berada pada komponen kondensor dan evaporator serta mengetahui karakteristik statik dari elemen-elemen yang digunakan pada perancangan alat dan mikrokontroller yang digunakan.

3.2.2 Perancangan Elemen *Sensing* Sistem Monitoring Temperatur

Dalam tahap ini dilakukan perancangan elemen *sensing*, dengan menyusun rangkaian *sensing* dengan keluaran yang stabil dan akurat. Elemen *sensing* yang digunakan yaitu berupa rangkaian *non-inverting*. Berikut adalah gambar dari rangkaian *non-inverting*:



Gambar 3.2. Rangkaian *Non-Inverting*

Pada tahap ini dilakukan perancangan elemen pengondisian sinyal pada sistem monitoring dengan menggunakan rangkaian penguat *non-inverting* yang memperlebar keluaran dari LM35 menjadi 0-5 Volt sehingga nilai tersebut sesuai dengan input yang diperoleh dari mikrokontroller nya yaitu 0-5 Volt. Rangkaian *non-inverting* yang digunakan dengan menggunakan IC 324 yaitu sebagai IC *non-inverting* dan perbandingan resistor 350 Ohm dengan 160 Ohm.

3.2.3 Uji Sensor

Sebelum dilakukan pembuatan sistem monitoring secara keseluruhan, dilakukan pengujian rangkaian sensor terlebih dahulu dengan melakukan pengambilan data setiap titik data sesuai spesifikasi sensor. Untuk rangkaian sensor temperatur menggunakan sensor LM35. Dalam pengujian sensor dilakukan dengan bantuan mikrokontroller Arduino sebagai Vin untuk LM35 dan termometer digital sebagai alat pembanding serta pemanas air sebagai media yang akan diukur nilai temperaturnya, berikut adalah spesifikasi dari termometer digital yang digunakan :



Gambar 3.3. Termometer Digital APPA 51

Spesifikasi Termometer Digital APPA 51 :

- Thermocouple tipe K
- Resolusi 1 °C atau 0.1 °C (1 °F atau 0.1 °F)
- Akurasi sebesar 0.3 % + 1 °C
- Menggunakan baterai 9 Volt
- Fungsi pembacaan hold
- Range pembacaan sebesar -500 sampai 1300 derajat celcius

3.2.4 Perancangan *Hardware* dan *Software* Sistem Monitoring Temperatur

Pada tahapan perancangan *hardware* dan *software* sistem monitoring temperatur melalui beberapa tahapan yang dapat digambarkan seperti pada diagram blok pada gambar 3.3. berikut ini:

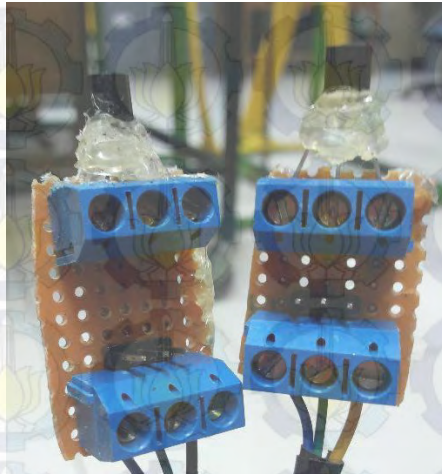


Gambar 3.4. Diagram Blok Alat Ukur Temperatur

Diagram blok tersebut menjelaskan mengenai tahapan dari pembuatan sistem pengukuran yang dilakukan oleh sensor. Mulai dari input, sensor (*sensing element*), pengkondisian sinyal (*signal conditioning element*), pemrosesan sinyal (*signal processing element*), dan penampil data (*data presentation element*). Perancangan *hardware* sistem monitoring temperatur melalui beberapa tahap, yaitu pembuatan rangkaian sensor LM35, pembuatan rangkaian *signal conditioning* kemudian masuk ke pemrograman mikrokontroler arduino untuk pengolahan data dari sensor.

a. Perancangan *Hardware* Sistem Monitoring Temperatur

Perancangan *hardware* alat ukur temperatur ini menggunakan sensor LM35. Sensor tersebut berfungsi untuk mengukur temperatur yang berada di komponen kondensor dan evaporator. Sensor LM35 merupakan bagian dari *sensing element* jika dilihat dari diagram blok. Sensor tersebut mengeluarkan nilai output berupa tegangan yang akan dikonversikan menjadi nilai temperatur pada *signal processing*, namun sebelum itu dilakukan terlebih dahulu rangkaian pengkondisian sinyal Sebelum *output* yang dikeluarkan oleh sensor diolah.



Gambar 3.5. Rangkaian Sensor LM35

Pengondisian sinyal dilakukan dengan menggunakan rangkaian *non-inverting* seperti yang dilakukan pada tahap perancangan elemen sensing, setelah dilakukan proses *signal conditioning* kemudian dilakukan pemrosesan sinyal melalui program *software* pemrograman Arduino Uno. Sinyal yang diproses adalah nilai keluaran dari setiap sensor temperatur. Sinyal yang diterima oleh mikrokontroller adalah sinyal analog dengan nilai output dari sensor yang berupa tegangan. Maka dilakukan pemrosesan sinyal agar nilai voltase tersebut dapat diproses menjadi nilai temperatur dan dapat ditampilkan di LCD (*Liquid Crystal Display*) karakter 16x2.

b. Perancangan Software Sistem Monitoring Temperatur

Perancangan *Software* pada tahap ini merupakan bagian dari rangkaian pemrosesan sinyal. Pada tahap ini pemrosesan sinyal menggunakan *software* Arduino. Rangkaian pemrosesan sinyal ini menggunakan Arduino Uno 328, untuk membuat program dibutuhkan *software* Arduino 1.0.6. Pada *software* tersebut, dilakukan *coding* program untuk mengolah sinyal masukan. Sinyal masukan tersebut berasal dari *output* yang dihasilkan oleh sensor

LM35, *output* yang dihasilkan oleh sensor adalah voltase dan jenis sensor masih analog, oleh karena itu pada *coding* digunakan fitur *read analog* dan dilakukan pengonkversian dari tipe data analog menjadi digital.



Gambar 3.6. *Software* Arduino 1.0.6

Setelah dilakukan pembuatan *hardware* dan *software* dilakukan uji pada *hardware* maupun *software*. Masing-masing dilakukan pengujian pengambilan data apakah sudah sesuai pada *hardware* yang telah dibuat dan *software* yang telah dilakukan,

apabila pada masing-masing masih terjadi kesalahan maka akan dilakukan pembuatan dan pengecekan kembali pada *hardware* dan *software*.

3.2.5 Integrasi *Hardware* dan *Software* dengan Mikrokontroller dan *Display*

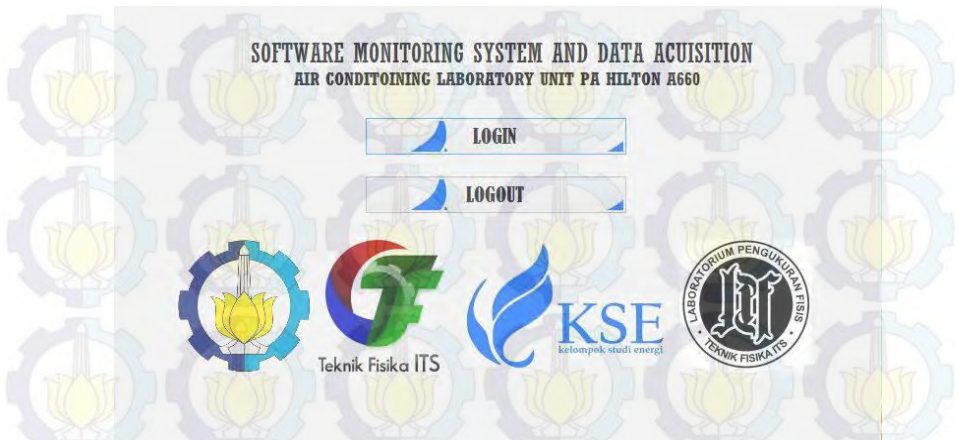
Setelah dilakukan *coding* program maka dilakukan pengintegrasian antara *hardware* dengan *software*. Didalam *software* dilakukan penyesuaian *Port Personal Computer (PC)* yang digunakan untuk melakukan proses *uploading* program yang ada ke mikro chip dari Arduino Uno 328, penyesuaian tersebut dilakukan dengan menggunakan fitur COM. Kemudian hasil program yang telah diunduh dapat dilihat pada LCD ataupun *serial monitor software* Arduino apakah tampilan tersebut telah sesuai dengan program yang diinginkan.

3.2.6 Uji Rancangan Sistem Monitoring Temperatur

Uji rancangan sistem monitoring temperatur ini dilakukan untuk mengetahui apakah program yang telah dibuat pada *software* dan diunduh ke *hardware* sudah berjalan dengan baik atau belum berjalan dengan baik. Masing-masing dari sensor dicoba untuk mengukur. Jika dari masing-masing sensor masih belum bisa menampilkan data, maka proses pemrograman dan Integrasi *software* serta *hardware* dilakukan kembali.

3.2.7 Pembuatan Desain Tampilan di *Personal Computer (PC)* dengan *Software Microsoft Visual Studio 2010* serta Penyimpanan *Database*

Setelah dilakukan pengintegrasian *hardware* dan *software* dari sistem monitoring ini kemudian dilakukan pembuatan tampilan data pada *Personal Computer (PC)* serta penyimpanan data *realtime*. *Software* yang digunakan untuk tampilan data yaitu *Microsoft Visual Studio 2010*, berikut adalah tampilan dari *software* Monitoring Temperatur yang dibuat :



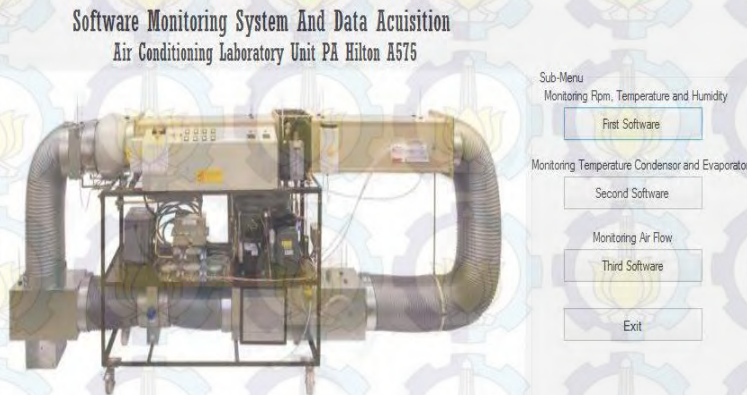
Gambar 3.7. Tampilan Form Awal *Software*

Pada gambar 3.7. merupakan tampilan awal dari *software* monitoring yang dibuat, terdapat perintah *login* dan *logout*, pada perintah *login* berfungsi untuk membuka form *login* seperti pada gambar 3.8. Dan *logout* berfungsi untuk keluar dari *software*.

Gambar 3.8. Tampilan Form *Login Software*

Pada gambar 3.8. merupakan tampilan form *login* dari *software*, dibutuhkan sebuah *user name* dan *password* agar dapat membuka form selanjutnya yang merupakan form menu dimana

disini terdapat beberapa pilihan *software* dari masing-masing sistem monitoring.

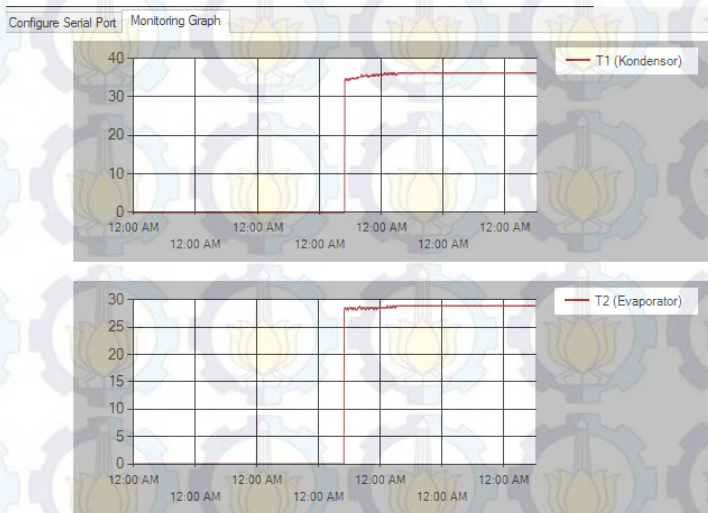


Gambar 3.9. Tampilan Menu *Software*

ID	T1	T2	Date	Time
1	31.45	29.99	6/26/2015	12:34:07 PM
2	31.82	29.99	6/26/2015	12:34:12 PM
3	32.18	29.99	6/26/2015	12:34:17 PM
4	32.18	29.99	6/26/2015	12:34:22 PM
5	32.55	29.99	6/26/2015	12:34:27 PM

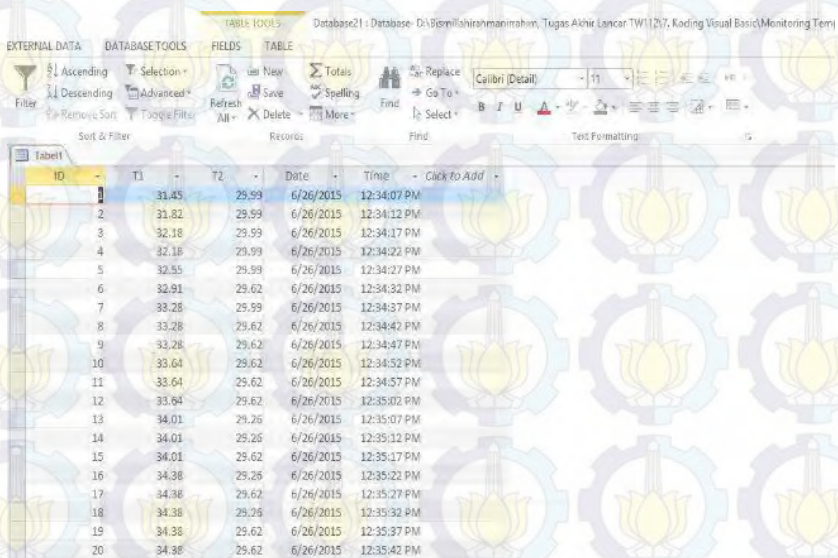
Gambar 3.10. Tampilan Utama Penampil Data Sistem Monitoring

Gambar 3.10. merupakan tampilan utama dari *software* monitoring temperatur. Pada form ini data temperatur yang diperoleh akan ditampilkan *secara real time*, selain itu data tersebut nantinya akan dibuat grafik *secara real time* seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. Tampilan Form Grafik Data Sistem Monitoring Temperatur

Dengan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic.NET* ditampilkan data yang terbaca oleh alat yaitu nilai Temperatur yang berada pada komponen kondensor dan evaporator berupa angka. Selain itu, pada *software* ditampilkan grafik temperatur *secara real time*. Data yang ditampilkan pada *software* akan disimpan sebagai *database* pada *Microsoft Access*, data yang ditampilkan merupakan data *real time*. *Database* tersebut dapat disimpan sehingga dapat diolah pada *Microsoft Excel*. Berikut adalah tampilan *database* pada *Microsoft Access*:



ID	T1	T2	Date	Time
1	31.45	29.99	6/26/2015	12:34:07 PM
2	31.82	29.99	6/26/2015	12:34:12 PM
3	32.18	29.99	6/26/2015	12:34:17 PM
4	32.18	29.99	6/26/2015	12:34:22 PM
5	32.55	29.99	6/26/2015	12:34:27 PM
6	32.91	29.62	6/26/2015	12:34:32 PM
7	33.28	29.99	6/26/2015	12:34:37 PM
8	33.28	29.62	6/26/2015	12:34:42 PM
9	33.28	29.62	6/26/2015	12:34:47 PM
10	33.64	29.62	6/26/2015	12:34:52 PM
11	33.64	29.62	6/26/2015	12:34:57 PM
12	33.64	29.62	6/26/2015	12:35:02 PM
13	34.01	29.26	6/26/2015	12:35:07 PM
14	34.01	29.26	6/26/2015	12:35:12 PM
15	34.01	29.62	6/26/2015	12:35:17 PM
16	34.38	29.26	6/26/2015	12:35:22 PM
17	34.38	29.62	6/26/2015	12:35:27 PM
18	34.38	29.26	6/26/2015	12:35:32 PM
19	34.38	29.62	6/26/2015	12:35:37 PM
20	34.38	29.62	6/26/2015	12:35:42 PM

Gambar 3.12. Tampilan Database pada Microsoft Access

3.2.8 Uji Software Tampilan Visual Studio 2010 dan Penyimpanan Database

Pada tahap ini dilakukan pengujian dengan cara pengambilan data pada *software* yang telah dibuat sebagai tampilan data, kemudian dilakukan penyimpanan data pada program *database* yang telah dibuat. Jika data tidak dapat ditampilkan dan disimpan pada *database* maka akan dilakukan pemrograman ulang pada *software* yang digunakan.

3.2.9 Pengambilan Data Karakteristik Statik dan Kalibrasi

Pada tahap pengambilan data karakteristik statik merupakan tahap untuk melihat spesifikasi yang dimiliki oleh sistem monitoring yang telah dibuat. Dimana dengan keterangan data tersebut dapat diketahui nilai *range*, *span*, *k*, *sensitivitas*, *non-linieritas*, *hysteresis*, serta akurasi. Berikut merupakan langkah-langkah pengambilan data karakteristik statik:

- Nilai *range* dan resolusi sistem pengukuran dicatat sesuai spesifikasi sensor temperatur
- Kemudian nilai *span* ditentukan dengan rumus : $I_{max} - I_{min}$ dan $O_{max} - O_{min}$
- Nilai sensitivitas ditentukan dengan rumus :

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} \quad (3.1)$$

- Nilai linieritas ditentukan dari nilai pembacaan input naik, dengan rumus linieritas :

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}} \right] (I - I_{min}) \quad (3.2)$$

$$O_{ideal} = KI + a \quad (3.3)$$

Dimana :

K= Kemiringan garis lurus ideal

a = Koefisien garis lurus ideal

- *Hysteresis* ditentukan dengan melakukan pengambilan data input naik dan turun, dengan persamaan *hysteresis* :

$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow} \quad (3.4)$$

$$\% \text{ Maksimum hysteresis} = \frac{\hat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \quad (3.5)$$

- Nilai akurasi ditentukan dari pembacaan alat dengan pembacaan standar, nilai akurasi ditentukan dari nilai kesalahan akurasi dengan persamaannya, yaitu :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad (3.6)$$

Dengan rumus prosentase akurasi (a)

a = 100% - Persen kesalahan

Dimana: Y_n = Pembacaan standar

X_n = Pembacaan alat

Setelah melakukan pengambilan data karakteristik alat dilakukan pengambilan data kalibrasi, pengambilan data ini dilakukan dengan pengambilan data menggunakan *hardware* dari sistem monitoring yang sudah dirancang dengan menggunakan alat ukur standar yang sesuai dengan *hardware*, alat ukur yang digunakan yaitu alat ukur suhu termometer digital. Dimana dari

data tersebut dapat diketahui baik tidaknya performansi alat ukur yang dibuat. Diharapkan nilai Error yang didapatkan oleh alat ukur sistem monitoring yang sudah dirancang yaitu $\pm 5\%$.

Nilai-nilai ketiaktepastian yang didapatkan dengan cara kalibrasi secara pembacaan berulang, dengan langkah-langka sebagai berikut:

- Nilai U_{a1} dihitung berdasarkan persamaan yang ditunjukkan pada sub bab analisis ketidaktepastian (2.12)
- Nilai U_{a2} yaitu nilai ketidaktepastian berdasarkan pendekatan regresi dihitung dengan persamaan sesuai dengan sub bab analisis ketidaktepastian (2.14)
- Tahap selanjutnya dilakukan perhitungan ketidaktepastian berdasarkan nilai selain metode statistik (U_a) atau berdasarkan data yang sudah didapat dengan menggunakan persamaan pada analisis ketidaktepastian tipe B (2.20) dan (2.20)
- Berdasarkan data U_{a1} , U_{a2} , U_{b1} serta U_{b2} ini dapat ditentukan nilai ketidaktepastian kombinasi (U_c) sesuai persamaan pada ketidaktepastian baku gabungan (2.21)
- Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai ketidaktepastian diperluas U_{exp} yang didapatkan berdasarkan nilai K faktor cakupan dan nilai V faktor kebebasan. Sesuai dengan persamaan pada ketidaktepastian diperluas (2.22)

3.2.10 Pengambilan Data

Setelah nilai spesifikasi yang didapat, kemudian pada sistem monitoring ini dilakukan pengambilan data temperatur di komponen kondensor dan evaporator secara *real-time* dan penyimpanan *database*.

3.2.11 Menganalisa Data dan Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan analisa data temperatur yang telah diperoleh dari sistem monitoring. Kemudian dari data yang dihasilkan dari pembuatan sistem monitoring temperatur, dilakukan penarikan kesimpulan dari semua elemen yang mempengaruhi data tersebut.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1. Hasil Rancang Bangun Sistem Monitoring Temperatur

Berikut ini merupakan hasil dari perancangan sistem monitoring temperatur di komponen kondensor dan evaporator secara *real time* berbasis Arduino dan tampilan *Microsoft Visual Studio 2010*.

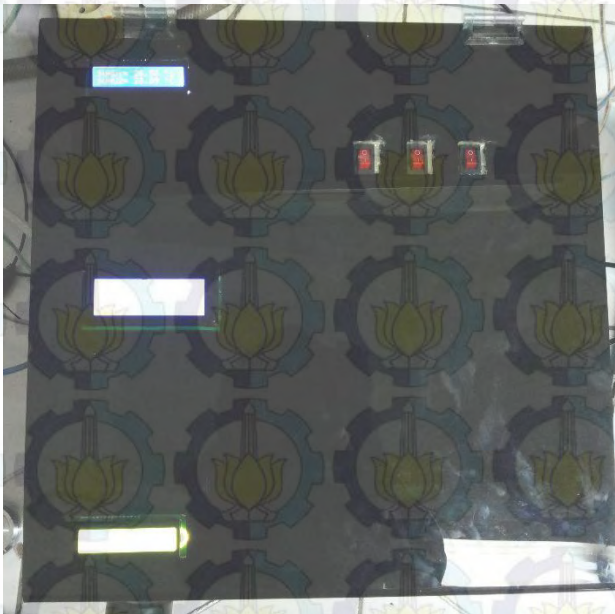


Gambar 4.1 Alat Ukur Temperatur

Gambar 4.1 merupakan alat ukur temperatur yang menggunakan sensor LM35.



Gambar 4.2. *Hardware Sistem Monitoring Temperatur*



Gambar 4.3. *Box Sistem Monitoring Temperatur*

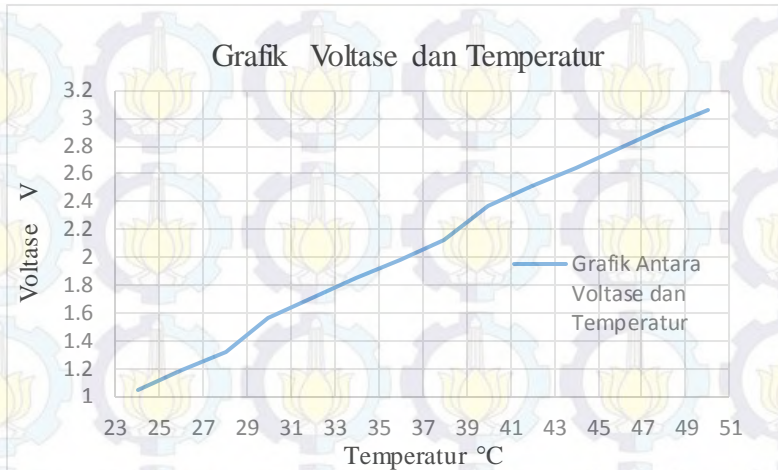
4.1.2. Pengujian Alat Ukur

Sebelum melakukan pengujian alat dengan menggunakan alat yang standar, terlebih dahulu dilakukan pengukuran nilai voltase dari keluaran sensor LM35 yang digunakan pada alat monitoring temperatur. Nilai voltase ini merupakan nilai yang dihasilkan oleh sensor sebelum masuk pada tahap pemrosesan sinyal sehingga menjadi nilai temperatur. Pengukuran nilai voltase digunakan untuk mengetahui dan memastikan bahwa nilai voltase yang dihasilkan pada saat di uji sesuai dengan nilai temperatur pada setiap perubahannya sesuai dengan *datasheet* sensor LM35.

Tabel 4.1. Data Voltase LM35

NO	Temperatur °C	Nilai Voltase (V)
1	24	1.046
2	26	1.186
3	28	1.326
4	30	1.566
5	32	1.706
6	34	1.846
7	36	1.986
8	38	2.126
9	40	2.366
10	42	2.506
11	44	2.646
12	46	2.786
13	48	2.926
14	50	3.066

Berdasarkan Tabel 4.1 data voltase yang didapatkan sesuai dengan *datasheet* LM35 yang dilampirkan didalam lampiran. Grafik voltase LM35 dengan nilai temperatur nya sebagai berikut:



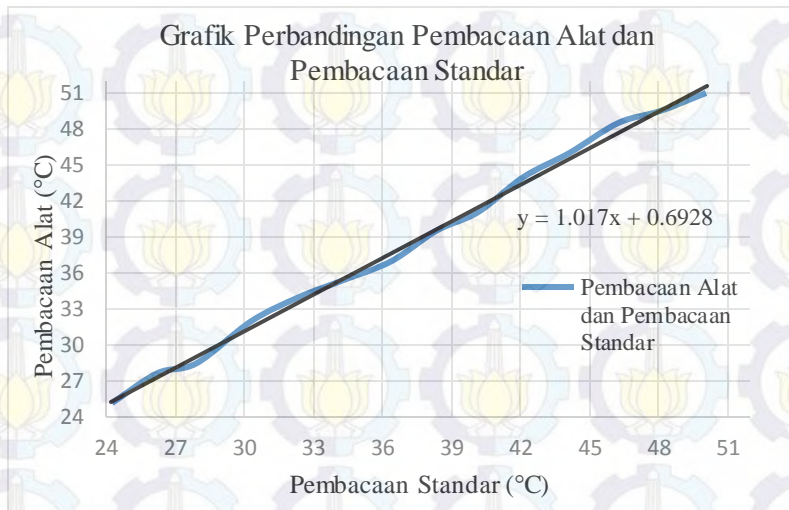
Gambar 4.4. Grafik pengujian voltase dan Temperatur

Setelah dilakukan perancangan alat dan pengujian nilai voltase pada sensor LM35 yang digunakan pada sistem monitoring, dilakukan pengujian alat. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai temperatur yang terbaca oleh alat yang dibuat dengan alat yang standar, pengujian dilakukan dalam rentang temperatur yang diukur yaitu $24^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ pada pemanas air. Pembacaan dilakukan pada setiap kenaikan temperatur sebesar 2°C . Pada setiap pengambilan data temperatur diambil sebanyak 30 data pada masing-masing nilai temperatur yang terbaca oleh alat standar dan alat yang dibuat. Alat standar yang digunakan yaitu Termometer Digital APPA51 yang telah di sebutkan spesifikasi nya pada bab sebelumnya. Berikut ini adalah data yang didapatkan dari pengujian alat:

Tabel 4.2. Data Pengujian Alat

Temperatur °C	Pembacaan Standar	Rata-rata Pembacaan Alat	%error
24	24.21	25.18	0.010
26	26.18	27.32	0.011
28	27.90	28.50	0.006
30	30.28	31.03	0.008
32	32.35	33.01	0.007
34	34.25	34.92	0.007
36	36.39	36.96	0.006
38	38.34	39.04	0.007
40	40.16	41.08	0.009
42	42.15	42.86	0.007
44	44.15	45.06	0.009
46	46.26	47.02	0.008
48	48.12	49.03	0.009
50	50.10	51.09	0.010
Jumlah	520.85	532.11	0.113
Rata-Rata	37.20		

Berdasarkan Tabel 4.2 didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.3 yang menjelaskan grafik antara pembacaan standar dan pembacaan alat dari alat ukur temperatur.



Gambar 4.5. Grafik Pembacaan Alat dan Pembacaan Standar Alat Ukur Temperatur

Grafik pada Gambar 4.5. merupakan grafik antara pengujian alat ukur yang dibuat dibandingkan dengan alat ukur yang standar, dimana didapatkan persamaan yang akan digunakan pada *programming* arduino sebagai nilai acuan konversi keluaran sensor yang sesuai dengan besaran fisis yang diukur. Persamaan grafik pengujian temperatur yang didapatkan yaitu $y = 1.017x + 0.6928$ dimana y sebagai nilai dari pembacaan alat standar dan x merupakan nilai pembacaan alat.

4.1.3 Data Spesifikasi Alat

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian spesifikasi alat melalui data karakteristik alat, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.3. Karakteristik Statik Alat

Temperatur °C	Standar	Pembacaan Alat		Beda Hysteresis	(STD- Alat)/STD	Non- Linieritas
		Naik	Turun			
24	24.2	24.6	24.76	0.16	-0.016	0.78
26	26.2	26.26	26.23	-0.03	-0.003	0.48
28	27.9	27.74	27.62	-0.12	0.006	0.25
30	30.3	30.43	30.48	0.05	-0.005	0.58
32	32.4	32.91	32.78	-0.13	-0.017	1.00
34	34.3	34.12	34.38	0.26	0.004	0.32
36	36.5	36.78	36.79	0.01	-0.008	0.75
38	38.3	38.57	38.48	-0.09	-0.006	0.70
40	40.2	40.2	40.45	0.25	-0.001	0.53
42	42.2	42.3	42.39	0.09	-0.004	0.59
44	44.2	44.24	44.45	0.21	-0.002	0.60
46	46.3	46.47	46.37	-0.1	-0.005	0.73
48	48.1	48.26	48.25	-0.01	-0.003	0.68
50	50.1	50.33	50.27	-0.06	-0.005	0.78
Jumlah	520.9	523.21	523.7		-0.064	8.76
Rata-rata	37.2	37.37	37.41		-0.212	0.63

Berdasarkan data pada Tabel 4.3 menghasilkan nilai sebagai berikut :

- a. *Range* : 24 °C – 50 °C
- b. *Span* : 25,73 °C
- c. *Resolusi* : 0,9943
- d. *Sensitivitas (K)* : 0,99382
- e. *Maksimum non-Linieritas* : 1,00
- f. *Non-linieritas* : 0,0004 %
- g. *Hysteresis* : 0,992074
- h. *Akurasi* : 99,15 %
- i. *Kesalahan (error)* : 0,156

Berikut ini hasil perhitungan nilai karakteristik statik alat ukur temperatur berdasarkan tabel 4.3. :

- $\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{50.33-24,6}{50.10-24,3} = 0,99382$
- *Non – Linieritas*

$$(N(I)) = O(I) - (KI + a)$$

*data yang dihitung adalah data pembacaan temperatur naik

Non – linieritas maksimum per unit

$$= \frac{N}{O_{\min} - O_{\min}} \times 100\% = 1$$

Dimana :

$$K (\text{sensitivitas}) = 0,99382$$

$$a (\text{zero bias}) = O_{\min} - KI_{\min}$$

$$a = 24,6 - 0,99382(24,2)$$

$$a = 0,5396$$

$$N (\text{Non Linieritas Maksimum}) = 1,00$$

sehingga :

Non-linieritas maksimum per unit

$$= \frac{1}{24,6-24,2} \times 100\% = 0,025\%$$

- Ketidak Akurasi

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right|,$$

Dengan :

Y_n = Pembacaan Standar

X_n = Pembacaan Alat

$$A = 1 - \left| 0,156 \right| = 0,844$$

- Error :

$$e = 1 - A$$

$$e = 1 - 0,844$$

$$e = 0,156$$

- Akurasi (%)

$$A = 100 - (0,788 \times 100\%) \\ = 99,15 \%$$

4.1.4 Data Kalibrasi Alat Sistem Monitoring Temperatur

Setelah diketahui karakteristik statik dari alat ukur temperatur yang dibuat maka kemudian dilakukan kalibrasi alat ukur. Sebagai kalibrator digunakan Termometer Digital APPA 51 yang nantinya nilai yang terbaca pada alat standar tersebut akan dibandingkan dengan alat ukur temperatur yang dibuat. Berikut ini adalah hasil pengukuran kalibrasi untuk mencari nilai-nilai ketidakpastian alat ukur.

Tabel 4.4. Data Kalibrasi Alat Ukur

Temperatur °C	Pembacaan Standar	Pembacaan Naik		Rata-Rata Pembacaan	Koreksi	yreg	Residu	R ²
		Naik	Turun					
24	24.21	24.6	24.76	24.68	-0.47	-0.1804	-0.29	0.08
26	26.18	26.26	26.23	26.25	-0.07	-0.1803	0.12	0.01
28	27.9	27.74	27.62	27.68	0.22	-0.1803	0.40	0.16
30	30.28	30.43	30.48	30.46	-0.17	-0.1803	0.01	0.00
32	32.35	32.91	32.78	32.85	-0.49	-0.1802	-0.31	0.10
34	34.25	34.12	34.38	34.25	0	-0.1802	0.18	0.03
36	36.49	36.78	36.79	36.79	-0.29	-0.1801	-0.11	0.01
38	38.34	38.57	38.48	38.53	-0.18	-0.1801	0.00	2E-05
40	40.16	40.2	40.45	40.33	-0.165	-0.1801	0.02	0.00
42	42.15	42.3	42.39	42.35	-0.20	-0.1800	-0.01	0.00
44	44.15	44.24	44.45	44.35	-0.20	-0.1800	-0.02	0.00
46	46.26	46.47	46.37	46.42	-0.16	-0.1799	0.02	0.00
48	48.12	48.26	48.25	48.26	-0.14	-0.1799	0.04	0.00
50	50.10	50.33	50.27	50.3	-0.20	-0.17985	-0.02	0.00
Jumlah	520.93			523.46	-2.52		SSR	0.41
Rata-rata	37.21			37.39	-0.18			

Berikut merupakan perhitungan ketidakpastian alat ukur Berdasarkan tabel 4.4.

a. Nilai Ketidakpastian tipe A

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}}{n-1}$$

Dimana :

σ (Standar Deviasi) = 0,176

Sehingga dari nilai standar deviasi diatas didapatkan nilai ketidakpastian tipe A :

$$Ua_1 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$Ua_1 = \frac{0,176}{\sqrt{14}}$$

$$Ua_1 = 0,051$$

Sedangkan nilai ketidakpastian regresi Ua_2 adalah

$$Ua_2 = \sqrt{\frac{SSR}{n-1}}$$

Dimana :

SSR merupakan singkatan dari *Sum Square Residual* yang didapatkan dari :

SSR = $\sum SR$ (Square Residual)

SR = R^2 (Residu)

Y_i (Nilai Koreksi) = Pemb. Standar (t_i) - Pemb. Alat (x_i)

$Y_{reg} = a + (b \times t_i)$

$a = \bar{y}_i + (b \times t_i)$

$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y_i \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}$; t_i = Pemb. Standar

y_i = Nilai Koreksi, n = jumlah data

Kemudian :

$$b = \frac{(14 \times -93,81) - (-2,52 \times 520,93)}{(14 \times 20291,41) - (520,93^2)} = 2,088 \times 10^{-5}$$

Sehingga nilai

$$a = -0,18 + (2,088 \times 10^{-5} \times 37,21)$$

$$a = -0,181$$

Dari data perhitungan diatas, didapatkan persamaan regresi yaitu :

$$Y_{\text{reg}} = (-0,181) + (2.088 \times 10^{-5} \times t_i)$$

Nilai Y_{reg} tersebut menghasilkan nilai SSR sebesar = 0,41

Dengan demikian nilai U_{a_2} didapatkan :

$$U_{a_2} = \sqrt{\frac{0,41}{14-2}}$$

$$U_{a_2} = 0,0531$$

b. Nilai Ketidakpastian tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian yang digunakan, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{b_1}) dan ketidakpastian alat standar termometer digital (U_{b_2}). Berikut ini adalah perhitungan dari ketidakpastian tipe B :

$$U_{b_1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{b_1} = \frac{\frac{1}{2} \times 0,01}{\sqrt{3}}$$

$$U_{b_1} = 0,003$$

$$U_{b_2} = \frac{a}{k}$$

dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasi maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil $U_{b_2} = 0$

c. Nilai Ketidakpastian Kombinasi U_c :

$$U_c = \sqrt{U_{a_1}^2 + U_{a_2}^2 + U_{b_1}^2 + U_{b_2}^2}$$

$$U_c = \sqrt{0,051^2 + 0,0531^2 + 0,002^2 + 0^2}$$

$$U_c = 0,0736$$

Dengan nilai V atau derajat kebebasan dari 2 tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n - 1$, sehingga :

$V_1 = 13$; $V_2 = 13$; $V_3 = \infty$; $V_4 = 60$ (berdasarkan tabel *T Student*)

Dengan nilai V_{eff} (Nilai derajat kebebasan efektif) sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / V_i}$$

$$V_{eff} = \frac{(0,0736)^4}{(0,051)^4 / 13 + (0,0531)^4 / 13 + (0,002)^4 / \infty + (0)^4 / 60}$$

$$V_{eff} = 26,03$$

Jika V_{eff} tersebut dibulatkan menjadi 26, dimana pada tabel *T Student* menghasilkan nilai k (faktor cakupan) sebesar 1,706. Oleh karena itu, hasil ketidakpastian diperluas yaitu sebesar :

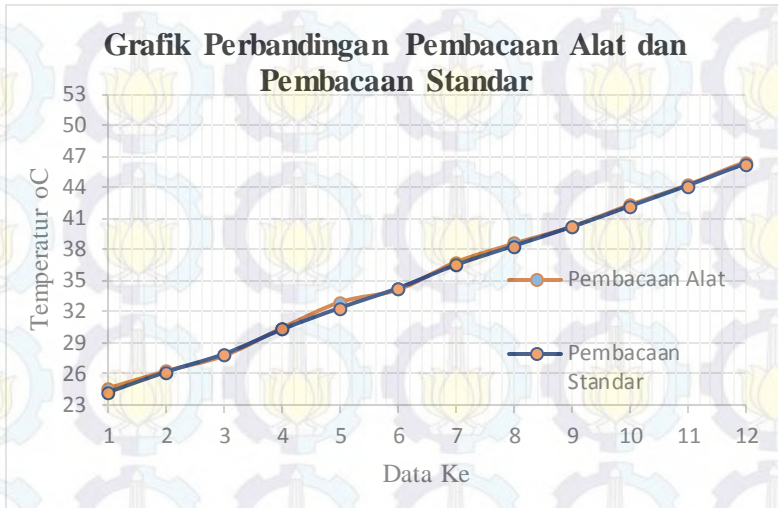
$$U_{exp} = k \times U_c$$

$$U_{exp} = 1,706 \times 0,0736$$

$$U_{exp} = 0,13$$

Berdasarkan nilai perhitungan ketidakpastian diperluas yang didapatkan, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar $\pm 0,13$ dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur tersebut selama digunakan.

Berikut ini merupakan grafik perbandingan alat ukur temperatur yang dibuat dengan alat ukur temperatur standar, grafik ini merupakan data temperatur yang diambil setelah alat dikalibrasi:



Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Pembacaan Alat dan Standar

Pada Gambar 4.6. didapatkan grafik perbandingan antara pembacaan alat standar dan pembacaan alat yang dibuat, dari grafik tersebut menunjukkan bahwa pembacaan alat yang ditunjukkan dengan garis warna *orange* memiliki respon yang naik dan mengikuti respon yang dimiliki oleh alat ukur standar yaitu termometer digital.

4.1.5 Monitoring Temperatur di komponen kondensor dan evaporator pada Air Conditioning Laboratory Unit PA Hilton A575

Monitoring ini dilakukan untuk mengetahui nilai temperatur yang berada di komponen kondensor dan evaporator. Mengetahui nilai temperatur rendah yang berada di komponen evaporator sebagai T_2 dan temperatur tinggi di komponen kondensor sebagai T_1 . Data temperatur yang didapatkan pada masing-masing komponen digunakan untuk menghitung nilai COP (*Coefficient of Performance*). Berdasarkan standar ASHARE nilai COP yang mengkategorikan bahwa sebuah sistem refrigerasi masih berjalan dengan baik atau tidak yaitu sebesar 12.1 EER. EER adalah satuan

nilai efisiensi Btuh/watt jika diinginkan dalam bentuk COP maka nilai COP dibagi dengan 0,2931.

Berikut merupakan hasil rata-rata pengambilan data *monitoring* temperatur di komponen kondensor dan evaporator pada *air conditioning laboratory unit* PA Hilton A575. Dalam pengambilan data temperatur ini diambil setiap 5 menit mesin kerja kompresor dinyalakan.

Tabel 4.5. Variasi Temperatur pada Kondensor dan Evaporator

No	Tanggal	Waktu	T1 °C (Kondensor)	T2 °C (Evaporator)
1	06/26/15	12:34:07	34.50	29.60
2	06/26/15	12:43:00	35.97	30.47
3	06/27/15	10:37:03	35.76	28.65
4	06/27/15	10:43:56	36.2	28.89
5	06/27/15	10:49:55	38.44	29.90
6	06/27/15	10:54:59	39.00	30.85
7	06/27/15	10:59:58	40.03	31.19
8	06/27/15	11:04:00	40.31	31.34

Data yang terdapat di dalam Tabel 4.5. merupakan data hasil sistem *monitoring* yang dilakukan di komponen kondensor dan evaporator, dimana T_1 adalah temperatur yang berada di komponen kondensor dan T_2 adalah temperatur yang berada di komponen evaporator. Dari data diatas menyatakan bahwa temperatur yang berada di komponen kondensor cenderung memiliki temperatur yang lebih tinggi dan temperatur yang berada di komponen evaporator cenderung memiliki temperatur yang lebih rendah. Data temperatur tersebut digunakan untuk menghitung nilai efisiensi mesin carnot atau yang biasa diketahui sebagai nilai COP_{carnot} . Berikut adalah tabel hasil perhitungan nilai COP berdasarkan variasi temperatur yang didapatkan pada tabel 4.5. :

Tabel 4.6. Nilai $COP_{r,carnot}$

T1 °C (Kondensor)	T2 °C (Evaporator)	T1/T2	(T1/T2) - 1	COP
34.50	29.60	1.17	0.17	6.04
35.97	30.47	1.18	0.18	5.54
35.76	28.65	1.25	0.25	4.03
36.2	28.89	1.25	0.25	3.95
38.44	29.90	1.29	0.29	3.50
39.00	30.85	1.26	0.26	3.79
40.03	31.19	1.28	0.28	3.53
40.31	31.34	1.29	0.29	3.50

Tabel 4.6. merupakan tabel nilai $COP_{r,carnot}$ yang didapatkan dari *monitoring* data temperatur yang berada pada komponen kondensor dan evaporator, data tersebut didapatkan dari rumus berikut ini :

$$COP_{r,carnot} = \frac{1}{T_1/T_2 - 1} \quad (4.1)$$

Dimana :

T_1 = Temperatur yang berada di komponen kondensor

T_2 = Temperatur yang berada di komponen evaporator

Berdasarkan standar ASHARE nilai minimum efisiensi atau nilai minimum COP yang dikehendaki yaitu bernilai 3,50. Nilai COP selalu mengalami perubahan setiap kali pengambilan data dilakukan dikarenakan posisi evaporator dan posisi kondensor yang berdekatan mengakibatkan temperatur yang dikeluarkan oleh kondensor dapat diserap kembali oleh evaporator begitu sebaliknya. Selain itu faktor temperatur lingkungan yang mempengaruhi perubahan temperatur yang tidak menentu karena temperatur ruangan tidak diketahui nilainya.

4.2 Pembahasan

Sistem monitoring temperatur ini terdapat 1 variabel yang diukur yakni nilai temperatur, nilai temperatur yang diukur yakni berada di dua tempat yaitu di komponen kondensor dan komponen evaporator. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan sensor LM35 dan ditampilkan menggunakan LCD 16 x 2, selain itu data temperatur yang didapatkan di tampilkan melalui *software visual studio 2010* dan terhubung dengan *Microsoft Access* sebagai akuisisi data temperatur yang telah terukur.

Prinsip kerja dari alat ukur temperatur ini adalah *sensing element* dilakukan dengan menggunakan sensor LM35. Keluaran sensor LM35 adalah berupa nilai tegangan, nilai tegangan tersebut dikuatkan dengan menggunakan rangkaian penguat *non-inverting*. Rangkaian *non-inverting* sebagai pengubah tegangan yang dihasilkan oleh sensor agar sesuai dengan input pada *signal processing* yang dilakukan oleh arduino Uno 328. Output dari sensor yang berupa tegangan yang telah dikondisikan dengan rangkaian *non-inverting* tersebut masih dalam bentuk sinyal analog sehingga diubah menjadi sinyal digital (ADC) di dalam arduino Uno 328. Dilakukan *coding* yang sesuai dengan sensor sehingga output yang dikeluarkan oleh sensor LM35 dapat diproses kemudian dapat ditampilkan melalui *display* LCD 16 x 2 .

Grafik pada Gambar 4.5. merupakan grafik dari pengujian alat yang dilakukan dengan alat standar dimana data yang alat yang digunakan belum memiliki nilai regresi linier, sedangkan grafik pada Gambar 4.6. merupakan grafik data kalibrasi dimana data yang digunakan sudah terdapat nilai regresi linier yang didapatkan ketika melakukan pengujian alat.

Dari tabel 4.4 tabel kalibrasi alat ukur bahwa ketidakpastian diperluas (U_{expand}) = 0,13. Nilai ketidakpastian tersebut menunjukkan bahwa ketika kita mendapatkan nilai pengukuran temperatur sebesar 35,89 °C maka dapat dituliskan $(35,89 \pm 0,13)$ °C. Ketidakpastian diperluas tersebut didapatkan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% yang terdapat di dalam tabel *T-Student*. Alat ukur ini memiliki akurasi sebesar 99,15 %.

Alat ukur ini bisa digunakan dengan jangkauan atau *range* yang dimiliki yaitu $24^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$.

Dari hasil *monitoring* yang telah dilakukan, data temperatur yang diperoleh di dua komponen yang berbeda dapat digunakan untuk mencari nilai *coefficient of performance* (COP). Dengan menggunakan rumus sesuai Persamaan 4.1 di atas, didapatkan nilai COP yang tertera di dalam tabel 4.6. Nilai COP tersebut dibandingkan dengan nilai standar COP yang berasal dari standar ASHARE. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut nilai COP yang berasal dari hasil *monitoring* lebih besar dari nilai COP standar, dapat disimpulkan bahwa mesin refrigerasi yang bekerja pada AC. *Laboratory unit* PA Hilton A575 masih berfungsi dengan baik.



“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian sistem monitoring temperatur di komponen kondensor dan evaporator pada *Air Conditioning Laboratory Unit* Pa Hilton A575 dapat disimpulkan, yaitu:

- a. Pada sistem monitoring temperatur, alat ukur temperatur yang telah dibuat memiliki prosentase akurasi sebesar 99,15 %.
- b. Sistem monitoring temperatur yang telah dilakukan alat ukur temperatur memiliki nilai ketidakpastian pengukuran sebesar $\pm 0,13$ °C
- c. Dari hasil monitoring yang dilakukan di komponen kondensor dan evaporator pada *air conditioning laboratory unit* pa Hilton A575 dapat disimpulkan bahwa sistem refrigerasi masih berfungsi dengan baik.
- d. Sistem Refrigerasi pada *air conditioning laboratory unit* pa Hilton A575 memiliki nilai *coefficient of performance* \geq nilai *coefficient of performance* berdasarkan standar acuan yang digunakan.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada penelitian selanjutnya adalah :

- a. Sebaiknya perlu diadakan perbaikan terhadap komponen-komponen pendukung yang sudah tidak berfungsi kembali seperti, *pressure gauge*.
- b. Untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan pengaplikasian dari simulator *Air Conditioning Laboratory* untuk suatu ruangan yang benar-benar dikondisikan sesuai dengan 3 aspek yang bisa dilakukan oleh alat tersebut.



“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Laboratorium Pengukuran Fisis. 2013. **“Modul Teknik Pengukuran dan Kalibrasi”**. ITS. Surabaya
- Bentley, John P. 2005. **”Principles of Measurement System 4th Edition”**. London : Prentice Hall.
- KAN. 2013. “Pedoman Evaluasi dan Pelaporan Ketidakpastian Pengukuran”. **Pedoman KAN DP.01.23**. Jakarta.
- Handoko, Yeffry. 2010. **“Analisis Pemodelan berdasarkan Karakteristik Dinamik”**.
- Administrator UPT Balai Pengembangan Instrumentasi-LIPI. 2009. **”Pengertian Kalibrasi”**. Bandung.
- S.Schiavon, K.H.Lee, 2010. F.Bauman, and T.Webster, **“Influence of raised floor on zone design cooling load in commercial buildings,”** Energy and Buildings.
- Stocker, Wilbert., dkk. 1994. **”Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. Edisi Kedua”**. Jakarta: Penerbit Airlangga.
- K.Deng,P. Barooh, dkk. 2010. **“Building thermal model reduction via aggregation of state”** in ACC,
- Arduino. 2014. **Arduino Uno 328**, <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> 328>
- Nur, Miskah. 2012. “Alat Pengukur Suhu otomatis berbasis mikrokontroler ATmega 8535 dengan penampil LCD” **Tugas Akhir** Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Hidayatullah, Syarif. 2013. **“Pemrograman Visual Pengenalan Visual Basic”**. Politeknik Negeri Semarang.
- ATTEN INSTRUMENTS, SHENZHEN. 2011. **“LM35 TEMPERATURE SENSOR Datasheet”**. China.

LAMPIRAN A (DATA PENGUJIAN ALAT DAN KALIBRASI)

Tabel A.1. Data Pengujian Alat

Temperatur °C	STD	Pembacaan Naik									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	24.2	24.98	24.98	25.1	25.1	25.1	25.5	25.5	25.5	25.5	25.8
26	26.2	27.1	27.1	27.1	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	26.98	26.98
28	27.9	28.89	28.89	28.89	28.16	28.52	28.52	28.52	28.16	28.89	28.89
30	30.3	30.89	30.89	30.89	30.89	31.1	31.1	31.1	31.9	31.9	31.1
32	32.4	32.91	32.91	32.91	33.28	33.28	33.28	33.28	33.28	32.91	32.91
34	34.3	34.98	34.98	34.98	34.98	34.98	35.1	35.1	35.1	34.98	34.98
36	36.5	36.48	36.48	36.48	36.48	36.48	36.57	36.57	36.57	36.93	36.93
38	38.3	38.76	38.76	38.76	38.76	38.76	39.13	38.76	38.76	38.76	38.76
40	40.2	41.69	41.69	41.69	41.69	41.69	41.69	41.69	41.69	41.69	41.69
42	42.2	42.6	42.6	42.6	42.6	42.9	42.9	42.9	42.9	43.1	43.3
44	44.2	44.78	44.78	44.78	44.78	44.98	44.98	44.98	44.98	44.98	44.98
46	46.3	47.2	47.2	46.88	46.88	46.88	46.88	47.2	47.2	47.2	47.2
48	48.1	49.1	49.1	49.1	49.1	48.65	48.65	48.88	48.88	48.88	49.1
50	50.1	51.56	51.2	51.2	51.2	51.2	51.5	51.5	50.83	50.83	50.83

Tabel A.1. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Naik									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
24	24.2	25.8	25.8	25.5	25.1	25.1	25.1	24.98	24.98	24.98	24.98
26	26.2	26.98	26.98	26.98	26.98	27.1	27.1	27.1	26.98	26.98	26.98
28	27.9	28.89	28.89	28.16	28.16	28.16	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52
30	30.3	31.1	31.1	31.1	31.1	30.72	30.72	31.09	31.09	30.72	30.72
32	32.4	32.91	33.28	33.28	33.28	33.28	33.28	32.55	32.55	32.55	32.55
34	34.3	34.98	34.98	35.1	35.5	35.5	34.98	34.98	34.98	34.98	35.1
36	36.5	36.93	36.48	36.48	36.48	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66
38	38.3	38.76	38.76	38.76	38.76	39.13	39.13	39.13	39.13	39.13	39.13
40	40.2	41.69	41.69	41.69	41.69	41.32	41.32	41.32	41.32	40.96	40.59
42	42.2	43.3	43.3	43.3	43.3	42.88	42.88	42.88	42.88	42.88	43.10
44	44.2	44.78	44.78	44.78	44.78	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1
46	46.3	47.2	47.2	47.2	46.55	46.55	46.55	46.55	46.55	46.55	46.88
48	48.1	49.1	49.1	49.1	48.88	48.88	48.88	48.88	48.88	48.88	49.1
50	50.1	50.83	50.83	50.83	50.6	50.6	50.6	50.6	50.6	50.83	51.2

Tabel A.1. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Naik									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
24	24.2	24.98	24.98	24.98	24.98	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1
26	26.2	26.98	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	26.98	26.98	27.1	27.1
28	27.9	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52	28.16	28.16	28.16	27.79
30	30.3	30.72	30.72	31.09	31.09	31.09	31.09	31.09	31.09	31.09	31.09
32	32.4	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	33.64
34	34.3	35.5	35.5	34.98	34.98	34.98	34.98	34.98	34.88	34.88	34.88
36	36.5	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	36.93	36.93	36.93	36.93
38	38.3	39.13	39.13	39.13	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
40	40.2	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59
42	42.2	43.30	43.30	43.30	43.30	43.30	43.30	43.30	43.30	42.79	43.15
44	44.2	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	44.25	44.25
46	46.3	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	47	47	47	46.88	46.88
48	48.1	49.1	49.1	49.1	49.5	49.5	49.5	49.5	49.1	48.65	48.88
50	50.1	51.2	51.2	51.2	51.2	51.2	51.2	51.2	51.2	50.83	50.83

Tabel A.1. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Turun									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	24.2	24.98	24.98	24.98	24.98	24.98	25.1	25.1	25.5	25.8	25.8
26	26.2	27.43	27.43	27.43	27.43	27.43	27.43	27.43	27.06	27.43	27.79
28	27.9	28.16	28.89	28.89	28.89	28.52	28.52	28.52	28.52	28.89	28.89
30	30.3	30.72	30.72	31.09	31.09	30.89	30.89	30.89	30.89	30.89	31.09
32	32.4	33.28	33.28	33.28	33.28	32.91	32.91	32.91	33.28	33.28	33.28
34	34.3	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74
36	36.5	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	36.93	37.1	37.1	37.3	37.3
38	38.3	38.76	38.76	39.13	38.76	38.76	38.76	38.76	38.76	38.76	39.13
40	40.2	40.59	40.96	40.96	40.96	41.41	41.41	41.41	41.41	41.41	41.41
42	42.2	42.79	42.79	42.79	42.79	42.79	42.79	42.42	42.58	42.58	42.58
44	44.2	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	44.89	44.89	44.89
46	46.3	47.1	47.1	47.1	47.1	46.98	46.98	46.98	46.98	46.98	46.98
48	48.1	48.8	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	48.65	48.65	48.65
50	50.1	50.83	50.83	51.1	51.5	51.5	51.5	51.2	51.2	51.2	51.2

Tabel A.1. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Turun									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
24	24.2	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	25.1	25.1	24.8	24.8	24.8
26	26.2	27.43	27.43	27.43	27.43	27.43	27.43	27.43	27.43	27.43	28.16
28	27.9	28.89	28.89	28.89	28.89	28.89	28.16	28.16	28.52	28.52	28.52
30	30.3	31.09	31.09	31.09	31.09	31.09	30.35	30.72	31.1	31.1	31.1
32	32.4	33.28	33.28	33.28	33.41	33.41	33.28	33.28	32.55	32.55	32.55
34	34.3	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74
36	36.5	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.66	37.2	37.2	37.2	37.2
38	38.3	39.13	39.13	39.4	39.4	39.4	38.76	38.76	38.76	39.13	39.13
40	40.2	40.59	40.59	40.96	40.96	40.96	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59
42	42.2	42.42	42.42	42.42	42.42	42.42	42.79	42.79	42.79	42.79	42.79
44	44.2	44.89	44.89	44.89	45.1	45.1	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5
46	46.3	46.74	46.74	46.74	46.98	46.98	46.98	46.98	46.98	47.1	47.1
48	48.1	48.65	48.65	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	48.65
50	50.1	51.2	51.5	51.5	51.5	51.5	50.83	50.83	50.83	50.83	50.83

Tabel A.1. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Turun									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
24	24.2	24.8	24.8	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1
26	26.2	28.16	28.16	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.43	25.8
28	27.9	28.52	28.52	28.52	28.52	28.16	28.16	28.16	27.79	27.79	27.79
30	30.3	31.1	31.1	31.09	31.09	31.09	31.09	31.09	31.09	31.5	31.5
32	32.4	32.55	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.55	32.55	32.55	33.64
34	34.3	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88
36	36.5	37.2	37.2	37.2	37.2	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4
38	38.3	39.13	39.13	39.13	39.13	39.13	39.13	39.13	38.76	39.5	39.5
40	40.2	40.59	40.59	40.59	40.59	41.41	41.41	40.96	40.96	40.96	40.96
42	42.2	42.79	42.79	42.79	42.79	42.79	42.42	42.42	42.42	42.79	43.15
44	44.2	45.5	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89
46	46.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.1	46.98	46.98	46.98	46.98	46.98
48	48.1	48.65	48.65	48.65	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2
50	50.1	51.1	51.1	51.1	51.1	51.1	51.2	51.2	51.2	51.2	51.2

Tabel A.1. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Rata-Rata Pembacaan Alat		Rata-Rata Pembacaan Alat
		Naik	Turun	
24	24.2	25.2	25.17	25.18
26	26.2	27.79	27.52	27.66
28	27.9	29	28	28.5
30	30.3	32	32	32
32	32.4	34	34	34
34	34.3	36	34.78	35.39
36	36.5	36	38	37
38	38.3	39.06	40	39.53
40	40.2	41.24	40.93	41.08
42	42.2	43.05	45	44.02
44	44.2	45.04	47	46.02
46	46.3	47.01	50	48.5
48	48.1	49.04	50	49.52
50	50.1	51.02	51	51.01

Tabel A.2. Kalibrasi Alat

Temperatur °C	STD	Pembacaan Naik									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	24.2	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.5	24.5	24.5	24.5	24.87
26	26.2	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	25.96	25.96	25.96
28	27.9	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79
30	30.3	30.56	30.56	30.56	30.56	30.56	30.56	30.48	30.48	30.48	30.48
32	32.4	33.28	33.28	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91
34	34.3	33.64	33.64	33.64	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01
36	36.5	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	36.94	36.94	36.94	36.94
38	38.3	38.76	38.76	38.76	38.76	38.76	38.76	38.76	38.4	38.4	38.4
40	40.2	39.13	39.5	39.86	40.23	40.23	40.59	40.59	40.59	40.96	40.96
42	42.2	42.42	42.42	42.42	42.42	42.06	42.06	42.06	42.06	42.06	42.06
44	44.2	44.25	44.2	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25	44.2	44.25	44.2
46	46.3	46.81	46.81	46.81	46.81	46.81	46.81	46.81	46.44	46.44	46.44
48	48.1	48.21	48.32	48.43	48.54	48.65	48.09	48.09	48.09	48.09	48.21
50	50.1	50.83	50.83	50.83	50.47	50.47	50.47	50.47	50.47	50.47	50.1

Tabel A.2. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Naik									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
24	24.2	24.87	24.5	24.14	24.87	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.87
26	26.2	25.96	25.96	25.96	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.69	26.33
28	27.9	27.43	27.43	27.43	27.43	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79
30	30.3	30.48	30.48	30.48	30.21	30.21	30.12	30.48	30.48	30.48	30.48
32	32.4	33.28	33.28	32.55	32.55	32.55	33.28	33.28	32.91	32.55	32.55
34	34.3	34.01	33.64	34.01	34.01	34.01	34.01	34.38	34.38	34.38	34.38
36	36.5	36.94	37.3	37.3	36.94	36.94	37.3	37.3	36.94	36.94	36.57
38	38.3	38.4	38.76	38.76	38.76	39.13	38.76	38.76	38.03	38.76	38.76
40	40.2	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.23	40.23	40.23	40.23	40.23
42	42.2	42.06	42.06	42.06	42.06	42.06	42.06	42.42	42.06	42.06	42.06
44	44.2	44.2	44.2	44.25	44.2	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25
46	46.3	46.44	46.44	46.44	46.44	46.44	46.81	46.44	46.44	46.44	46.44
48	48.1	48.21	48.21	48.32	48.32	48.32	48.32	48.32	48.21	48.21	48.09
50	50.1	50.1	50.1	50.47	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.47

Tabel A.2. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Naik									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
24	24.2	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
26	26.2	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	25.96
28	27.9	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79
30	30.3	30.48	30.48	30.48	30.48	30.48	30.48	30.48	30.12	30.12	30.12
32	32.4	32.55	32.55	32.55	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	33.64
34	34.3	34.38	34.38	34.38	34.01	34.38	34.38	34.38	34.38	34.38	34.38
36	36.5	36.94	36.57	36.57	36.94	36.57	36.57	36.2	36.2	36.2	36.2
38	38.3	38.76	38.76	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.03	38.03	38.03
40	40.2	40.23	40.59	40.59	39.86	39.86	39.86	39.86	39.86	39.5	39.13
42	42.2	42.42	42.42	42.42	42.79	42.42	42.42	42.42	42.79	42.79	43.15
44	44.2	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25	44.25
46	46.3	46.44	46.44	46.08	46.08	46.08	46.08	46.08	46.08	46.44	46.44
48	48.1	48.09	48.21	48.21	48.21	48.21	48.32	48.32	48.32	48.32	48.32
50	50.1	50.47	50.1	50.1	50.47	50.47	50.47	50.47	50.47	49.74	50.1

Tabel A.2. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Turun									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	24.2	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.5	24.5	24.5	24.5	24.87
26	26.2	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	25.96	25.96	25.96
28	27.9	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.43	27.79	27.79
30	30.3	30.56	30.56	30.56	30.56	30.56	30.56	30.48	30.48	30.48	30.48
32	32.4	33.28	33.28	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91
34	34.3	33.64	33.64	33.64	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01	33.64	34.01
36	36.5	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	36.94	36.94	36.94	36.94
38	38.3	38.76	38.76	38.76	38.76	38.76	38.76	38.76	38.4	38.4	38.4
40	40.2	39.13	39.5	39.86	40.23	40.23	40.59	40.59	40.59	40.96	40.96
42	42.2	42.42	42.42	42.42	42.42	42.06	42.06	42.06	42.06	42.06	42.06
44	44.2	44.25	44.25	44.62	44.25	44.25	44.62	44.98	44.62	44.25	44.25
46	46.3	46.44	46.44	45.71	46.44	46.44	46.44	45.71	46.44	46.44	46.44
48	48.1	48.09	48.09	48.21	48.14	48.21	48.14	48.32	48.32	48.32	48.32
50	50.1	50.47	50.83	50.83	50.83	50.1	50.1	49.74	49.74	50.1	50

Tabel A.2. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Turun									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
24	24.2	24.87	24.5	24.14	24.87	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.87
26	26.2	25.96	25.96	25.96	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.69	26.33
28	27.9	27.79	27.43	27.43	27.43	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79
30	30.3	30.48	30.48	30.48	30.21	30.21	30.12	30.48	30.48	30.48	30.48
32	32.4	33.28	33.28	32.55	32.55	32.55	33.28	32.91	32.55	32.55	32.55
34	34.3	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01	34.38	34.38	34.38	34.38
36	36.5	36.94	37.3	36.94	36.94	37.3	37.3	36.94	36.94	36.57	36.94
38	38.3	38.4	38.76	38.76	38.76	39.13	38.76	38.76	38.03	38.76	38.76
40	40.2	40.59	40.59	40.59	40.59	40.23	40.23	40.23	40.23	40.23	40.23
42	42.2	42.06	42.06	42.06	42.06	42.06	42.06	42.42	42.06	42.06	42.06
44	44.2	43.88	44.62	44.98	44.62	44.62	44.25	44.25	44.62	44.6	44.25
46	46.3	46.44	46.44	46.44	46.44	45.71	46.44	46.44	46.44	45.71	46.44
48	48.1	48.32	48.32	48.32	48.32	48.32	48.21	48.32	48.32	48.32	48.21
50	50.1	50.1	50.1	50.47	50.79	50.79	50.47	50.47	50.47	50.47	50.47

Tabel A.2. Lanjutan

Temperatur °C	STD	Pembacaan Naik									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
24	24.2	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
26	26.2	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	26.33	25.96
28	27.9	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79	27.79
30	30.3	30.48	30.48	30.48	30.48	30.48	30.48	30.48	30.12	30.12	30.12
32	32.4	32.55	32.55	32.55	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	32.91	33.64
34	34.3	34.38	34.38	34.38	34.01	34.38	34.38	34.38	34.38	34.38	34.38
36	36.5	36.94	36.57	36.94	36.57	36.57	36.94	36.94	36.57	36.2	36.2
38	38.3	38.76	38.76	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.03	38.03	38.03
40	40.2	40.59	40.59	39.86	39.86	39.86	39.86	39.86	39.86	39.5	39.13
42	42.2	42.42	42.42	42.42	42.79	42.42	42.42	42.79	42.79	42.79	43.15
44	44.2	44.25	44.98	44.25	44.62	44.25	44.62	44.62	44.25	44.25	44.25
46	46.3	46.44	46.44	46.44	46.44	46.44	46.44	46.44	46.81	46.44	46.44
48	48.1	48.21	48.21	48.21	48.21	48.21	48.21	48.32	48.32	48.32	48.14
50	50.1	50.47	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	49.74	49.74	50.1

Tabel A.2. Lanjutan

Temperatur °C	Pembacaan Standar	Pembacaan Naik		Rata-Rata Pembacaan
		Naik	Turun	
24	24.21	24.6	24.76	24.68
26	26.18	26.26	26.23	26.25
28	27.9	27.74	27.62	27.68
30	30.28	30.43	30.48	30.46
32	32.35	32.91	32.78	32.85
34	34.25	34.12	34.38	34.25
36	36.49	36.78	36.79	36.79
38	38.34	38.57	38.48	38.53
40	40.16	40.2	40.45	40.33
42	42.15	42.3	42.39	42.35
44	44.15	44.24	44.45	44.35
46	46.26	46.47	46.37	46.42
48	48.12	48.26	48.25	48.26
50	50.10	50.33	50.27	50.3

LAMPIRAN B

(Listing Program di Mikrokontroller dan Microsoft Visual Studio 2010)

B.1. Listing Program Arduino

```
#include <LiquidCrystal.h>


LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

float temp;
float temp1;
float temp2;
float temp3;
float temp4;
float temp5;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.print("Temperature 1 " );
  Serial.print("    \t");
  Serial.print("Temperature 2 " );
  Serial.println("    \t");
}

void loop() {
  temp = analogRead(A0); //Read Analog Input
  temp1 = (temp/1023)*5; //Convert ADC
  temp2 = ((temp1*100)/1.336478);
  temp3 = analogRead(A1);
  temp4 = (temp3/1023)*5 ;
  temp5 = ((temp4*100)/1.336478) ;

  Serial.print( temp2);
```

```
Serial.print(char(176));  
Serial.print("\t");  
Serial.print("    ");  
Serial.print( temp5);  
Serial.print(char(176));  
Serial.print("\t") ;  
Serial.println("    ");  
Serial.print(temp2);  
Serial.print(",");  
Serial.print(temp5);  
Serial.println(",");
```

```
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print ("SUHU1=");  
lcd.setCursor(7, 0);  
lcd.print(temp2);  
lcd.setCursor(13,0);  
lcd.print (char(223));  
lcd.setCursor(14,0);  
lcd.print ("C");
```

```
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print ("SUHU2=");  
lcd.setCursor(7, 1);  
lcd.print(temp5);  
lcd.setCursor(13,1);  
lcd.print (char(223));  
lcd.setCursor(14,1);  
lcd.print ("C");
```

```
delay(2000);  
}
```

B.2. Listing Program *Mocrosoft Visual Studio 2010*

```
Imports System
Imports System.Threading
Imports System.IO.Ports
Imports System.ComponentModel
Imports System.Data.OleDb
Public Class Form3
Dim Alldata As String
Dim i As Integer
Dim aryTextFile() As String
Dim myport As Array
Delegate Sub SetTextCallBack(ByVal [text] As String)
Private Sub TampilReader()
Dim Tampil As String = "Select * From Tabell" &
    TextBoxkodeID.Text & ""
Try
    Using Conn As New
        OleDbConnection(My.Settings.Database21ConnectionString
        )
        Using cmd As New OleDbCommand(Tampil, Conn)
            Conn.Open()
            Dim reader As OleDbDataReader = cmd.ExecuteReader
            While reader.Read
                TextBoxT1.Text = reader.GetValue(1)
                TextBoxT2.Text = reader.GetValue(2)
                TextBox1Tanggal.Text = reader.GetValue(3)
                TextBox2jam.Text = reader.GetValue(4)
            End While
        End Using
    End Using
End Using
```

```
Catch ex As Exception
    MsgBox(ex.Message())
End Try
End Sub
```

```
Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal  
e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load  
    TextBoxcodeID.Text = 1  
    myport = IO.Ports.SerialPort.GetPortNames  
    ComboBox1.Items.AddRange(myport)  
    ComboBox1.Items.AddRange(IO.Ports.SerialPort.GetPortNames)  
End Sub
```

```
Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object,  
ByVal e As System.EventArgs)  
    SerialPort1.PortName = ComboBox1.Text  
    SerialPort1.BaudRate = ComboBox2.Text  
    SerialPort1.Open()  
    Button2Mulai.Enabled = True  
    Button3Close.Enabled = True  
    Button2Mulai.Visible = False  
End Sub
```

```
Private Sub SerialPort1_DataReceived(ByVal sender As  
System.Object, ByVal e As  
System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs) Handles  
SerialPort1.DataReceived  
    receivedText(SerialPort1.ReadExisting())  
End Sub
```

```
Private Sub receivedText(ByVal text As String)  
    If Me.RichTextBox1.InvokeRequired Then
```



```

Dim x As New SetTextCallBack(AddressOf receivedText)
    Me.Invoke(x, New Object() {(text)})
Else
    Me.RichTextBox1.Text &= (text)
    Dim terima As String
    'Dim count As Integer
    terima = RichTextBox1.Text

    'For count As 0 To aryTextFile.Length - 3
    TextBox3.Text = RichTextBox1.Text
End If

End Sub

Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object,
    ByVal e As System.EventArgs) Handles Timer1.Tick
    TextBox1Tanggal.Text = Format(Now, "dd-MM-yyy")
    TextBox2jam.Text = Format(Now, "hh:mm:ss")
    RichTextBox1.Clear()
    Dim aryTextFile() As String = Split(TextBox3.Text, ",")
    If aryTextFile.Length > 1 Then
        Dim count As Integer
        For count = 0 To aryTextFile.Length - 2
            Label9.Text = aryTextFile(0)
            Label10.Text = aryTextFile(1)
        Next
        TextBoxT1.Text = Label9.Text
        TextBoxT2.Text = Label10.Text
    End If
End Sub

Private Sub Timer2_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal
    e As System.EventArgs) Handles Timer2.Tick

```

```

Label6.Text = Format(Now, "dd-MM-yyyy")
Label7.Text = Format(Now, "hh:mm:ss")
Me.Chart1.Series("T1
(Kondensor)").Points.AddY(Label9.Text)
Me.Chart3.Series("T2
(Evaporator)").Points.AddY(Label10.Text)
'Me.Chart1.Series("T1
(Kondensor)").Points.AddXY(Label9.Text)
'Me.Chart3.Series("T2
(Evaporator)").Points.AddXY(Label10.Text)

```

End Sub

```

Private Sub Timer4_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles Timer4.Tick

```

```

    Dim Tambah As String = "Insert Into Tabel1 Values('" &
    TextBoxcodeID.Text & "','" & TextBoxT1.Text & "','" &
    TextBoxT2.Text & "','" & TextBox1Tanggal.Text & "','" &
    TextBox2jam.Text & "')"

```

```

    Try

```

```

        Using Conn As New

```

```

            OleDbConnection(My.Settings.Database21ConnectionString)

```

```

            Using cmd As New OleDbCommand(Tambah, Conn)

```

```

                Conn.Open()

```

```

                cmd.ExecuteNonQuery()

```

```

                'MsgBox("Data Berhasil Ditambah", MsgBoxStyle.Information,
                "Perhatian")

```

```

                TampilData()

```

```

            End Using

```

```

        End Using

```

```

    Catch ex As Exception

```

```

        MsgBox(ex.Message)

```

```

End Try
    TextBoxkodeID.Text = Val(TextBoxkodeID.Text) + 1
End Sub

Private Sub TextBox1_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs)
    If e.KeyChar = Chr(13) Then
        TampilReader()
    End If
End Sub

Private Sub Button2_Click_1(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button2Mulai.Click
    SerialPort1.PortName = ComboBox1.Text
    SerialPort1.BaudRate = ComboBox2.Text
    SerialPort1.Open()
    Button2Mulai.Enabled = True
    'Button3Close.Enabled = True
    Button2Mulai.Visible = False
    'Timer5.Enabled = True
End Sub

Private Sub Button3Close_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button3Close.Click
    SerialPort1.Close()
    Button2Mulai.Visible = True
    'Button3Close.Enabled = False
    Timer4.Enabled = False
    Timer5.Enabled = False
End Sub

Private Sub Timer5_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Timer5.Tick
    TextBoxT1.Clear()

```



```

        TextBox21.Clear()
    End Sub

    Private Sub Button1tambah_Click_2(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button1tambah.Click
        Dim Tambah As String = "Insert Into Tabell Values('" &
        TextBoxkodeID.Text & "','" & TextBoxT1.Text & "','" &
        TextBoxT2.Text & "','" & TextBox1Tanggal.Text & "','" &
        TextBox2jam.Text & "')"
        Try
            Using Conn As New
OleDbConnection(My.Settings.Database21ConnectionString)
                Using cmd As New OleDbCommand(Tambah, Conn)
                    Conn.Open()
                    cmd.ExecuteNonQuery()
                    MsgBox("Data Berhasil Ditambah",
MsgBoxStyle.Information, "Perhatian")
                Tampildata()
            End Using
        End Using
        Catch ex As Exception
            MsgBox(ex.Message)
        End Try
        TextBoxkodeID.Text = Val(TextBoxkodeID.Text) + 1
    End Sub

    Private Sub Button2edit_Click_2(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button2edit.Click
        Dim Ubah As String = "Update Tabell =" & TextBoxT1.Text &
        "',' i='" & TextBoxT2.Text & "',' HargaJual='" & "',' Jumlah='" & "','

```

```

=" & "', Date =" & TextBox1Tanggal.Text & "', Time =" &
TextBox2jam.Text & "' =" & TextBoxkodeID.Text & ""
    Try
        Using Conn As New
            OleDbConnection(My.Settings.Database21ConnectionString)
        Using cmd As New OleDbCommand(Ubah, Conn) Conn.Open()
        cmd.ExecuteNonQuery() MsgBox("Data Berhasil DiUbah",
        MsgBoxStyle.Information, "Perhatian")
        TampilData()
    End Using
    End Using
    Catch ex As Exception
        MsgBox(ex.Message)
    End Try
End Sub

Private Sub Button3hapus_Click_2(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button3hapus.Click
    Dim Hapus As String = "Delete From Tabel1 Where
KodeBarang=" & TextBoxkodeID.Text & ""
    Try
        Using Conn As New
            OleDbConnection(My.Settings.Database21ConnectionString)
        Using cmd As New OleDbCommand(Hapus, Conn)
        Conn.Open()
        cmd.ExecuteNonQuery()
        MsgBox("Data Berhasil Dihapus",
        MsgBoxStyle.Information, "Perhatian")
        TampilData()
    End Using
    End Using

```

```
Catch ex As Exception
    MsgBox(ex.Message)
End Try
End Sub

Private Sub Button4keluar_Click_1(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button4keluar.Click
    main_menu.Show()
    Me.Hide()
End Sub

Private Sub Button1Record_Click(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button1Record.Click
    Timer4.Enabled = True
End Sub

Private Sub Button1stoprecord_Click(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button1stoprecord.Click
    Timer4.Enabled = False
End Sub

Private Sub Chart1_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles Chart1.Click
End Sub
End Class
```


LAMPIRAN C (Datasheet)

- **Datasheet Arduino Uno 328**

ARDUINO UNO Revision 3 BOARD



The Arduino Uno is one of the most common and widely used Arduino processor boards. There are a wide variety of shields (plug in boards adding functionality). It is relatively inexpensive (about \$25 - \$35). The latest version as of this writing (3/2014) is Revision 3 (r3):

- Revision 2 added a pull-down resistor to the 8U2 HWB line, making it easier to put into DFU (Device Firmware Update) mode
- Revision 3 added
 - SDA and SCL pins are now brought out to the header near the AREF pin (upper left on picture). SDA and SCL are for the I2C interface
 - IOREF pin (middle lower on picture that allows shields to adapt to the voltage provided
 - Another pin not connected reserved for future use

The board can be powered from the USB connector (usually up to 500ma for all electronics including shield), or from the 2.1mm barrel jack using a separate power supply when you cannot connect the board to the PC's USB port.

ARDUINO UNO Revision 3 Specifications



- Microcontroller: ATmega328
- Operating Voltage: 5V
- Uno Board Recommended Input Voltage: 7 – 12 V
- Uno Board Input Voltage Limits: 6 – 20 V
- Digital I/O Pins: 14 total – 6 of which can be PWM
- Analog Input Pins: 6
- Maximum DC Current per I/O pin at 5VDC: 40ma
- Maximum DC Current per I/O pin at 3.3 VDC: 50ma
- Flash Memory: 32KB (0.5KB used by bootloader)
- SRAM Memory: 2KB
- EEPROM: 1KB
- Clock Speed: 16 MHz

ARDUINO UNO Revision 3 Processor Peripherals (Atmel ATmega 328)



- Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
- One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
- Real Time Counter with Separate Oscillator
- Six PWM channels
- Six channel 10 bit ADC including temperature measurement
- Programmable Serial USART
- Master/Slave SPI Serial Interface
- Byte-oriented 2 wire Serial Interface (Philips I2C compatible)
- Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
- On-chip Analog Comparator

ARDUINO UNO Revision 3 and ATmega328 processor

PB1 (~9)	15	14	(6) PB0
PB2 (~10)	16	13	(7) PD7
PB3 (~11)	17	12	(~8) PD6
PB4 (12)	18	11	(~5) PD5
PB5 (13)	19	10	PB7
AVCC	20	9	PB6
AREF	21	8	GND
GND	22	7	VCC
PC0 (A0)	23	6	(4) PD4
PC1 (A1)	24	5	(~3) PD3
PC2 (A2)	25	4	(2) PC2
PC3 (A3)	26	3	(TX 1) PD1
PC4 (A4)	27	2	(RX 0) PC0
PC5 (A5)	28	1	(RST) PC6



The Arduino board makes it very easy to use the ATmega328 processor by providing easy access to most of the pins via the headers. In addition, it provides:

- 5 VDC regulated power from the 6 – 20 VDC input jack
- 3.3 VDC regulated power available for other electronics
- The crystal oscillator
- A reset switch
- USB access to the serial port
- Headers for connection and for shields

LAMPIRAN D
(Data Monitoring HVAC)

Tabel D.1. Data Monitoring di Komponen Kondensor dan Evaporator

ID	T1	T2	Date	Time
1	31.45	29.99	26-Jun-15	12:34:07 PM
2	31.82	29.99	26-Jun-15	12:34:12 PM
3	32.18	29.99	26-Jun-15	12:34:17 PM
4	32.18	29.99	26-Jun-15	12:34:22 PM
5	32.55	29.99	26-Jun-15	12:34:27 PM
6	32.91	29.62	26-Jun-15	12:34:32 PM
7	33.28	29.99	26-Jun-15	12:34:37 PM
8	33.28	29.62	26-Jun-15	12:34:42 PM
9	33.28	29.62	26-Jun-15	12:34:47 PM
10	33.64	29.62	26-Jun-15	12:34:52 PM
11	33.64	29.62	26-Jun-15	12:34:57 PM
12	33.64	29.62	26-Jun-15	12:35:02 PM
13	34.01	29.26	26-Jun-15	12:35:07 PM
14	34.01	29.26	26-Jun-15	12:35:12 PM
15	34.01	29.62	26-Jun-15	12:35:17 PM
16	34.38	29.26	26-Jun-15	12:35:22 PM
17	34.38	29.62	26-Jun-15	12:35:27 PM
18	34.38	29.26	26-Jun-15	12:35:32 PM
19	34.38	29.62	26-Jun-15	12:35:37 PM
20	34.38	29.62	26-Jun-15	12:35:42 PM

Tabel D.1. Lanjutan

ID	T1	T2	Date	Time
21	34.74	29.62	26-Jun-15	12:35:47 PM
22	34.74	29.62	26-Jun-15	12:35:52 PM
23	34.74	29.26	26-Jun-15	12:35:57 PM
24	34.74	29.26	26-Jun-15	12:36:02 PM
25	34.74	29.62	26-Jun-15	12:36:07 PM
26	34.74	29.62	26-Jun-15	12:36:12 PM
27	34.74	29.26	26-Jun-15	12:36:17 PM
28	34.74	29.26	26-Jun-15	12:36:22 PM
29	35.11	29.26	26-Jun-15	12:36:27 PM
30	35.11	29.62	26-Jun-15	12:36:32 PM
31	34.74	29.62	26-Jun-15	12:36:37 PM
32	34.74	29.62	26-Jun-15	12:36:42 PM
33	35.11	29.62	26-Jun-15	12:36:47 PM
34	34.74	29.62	26-Jun-15	12:36:52 PM
35	35.11	29.26	26-Jun-15	12:36:57 PM
36	35.11	29.26	26-Jun-15	12:37:02 PM
37	35.11	29.62	26-Jun-15	12:37:07 PM
38	35.11	29.26	26-Jun-15	12:37:12 PM
39	35.11	29.62	26-Jun-15	12:37:17 PM
40	35.11	29.99	26-Jun-15	12:37:22 PM

Tabel D.1 Lanjutan

ID	T1	T2	Date	Time
1	34.74	28.16	27-Jun-15	10:37:03 AM
2	34.38	28.16	27-Jun-15	10:37:08 AM
3	34.38	28.53	27-Jun-15	10:37:13 AM
4	34.74	28.53	27-Jun-15	10:37:18 AM
5	35.11	28.53	27-Jun-15	10:37:23 AM
6	34.74	28.53	27-Jun-15	10:37:28 AM
7	34.74	28.16	27-Jun-15	10:37:33 AM
8	34.74	28.16	27-Jun-15	10:37:38 AM
9	35.11	28.53	27-Jun-15	10:37:43 AM
10	35.47	28.53	27-Jun-15	10:37:48 AM
11	35.47	28.16	27-Jun-15	10:37:53 AM
12	35.47	28.53	27-Jun-15	10:37:58 AM
13	35.47	28.53	27-Jun-15	10:38:03 AM
14	35.47	28.53	27-Jun-15	10:38:08 AM
15	35.11	28.53	27-Jun-15	10:38:13 AM
16	35.47	28.53	27-Jun-15	10:38:18 AM
17	35.47	28.53	27-Jun-15	10:38:23 AM
18	35.47	28.53	27-Jun-15	10:38:28 AM
19	35.47	28.16	27-Jun-15	10:38:33 AM
20	35.84	28.53	27-Jun-15	10:38:38 AM

Tabel D.1. Lanjutan

ID	T1	T2	Date	Time
21	35.84	28.53	27-Jun-15	10:38:48 AM
22	35.84	28.53	27-Jun-15	10:38:53 AM
23	35.84	28.53	27-Jun-15	10:38:58 AM
24	35.84	28.53	27-Jun-15	10:39:03 AM
25	36.2	28.53	27-Jun-15	10:39:08 AM
26	35.84	28.53	27-Jun-15	10:39:13 AM
27	35.84	28.89	27-Jun-15	10:39:18 AM
28	36.2	28.53	27-Jun-15	10:39:23 AM
29	35.84	28.53	27-Jun-15	10:39:28 AM
30	36.2	28.53	27-Jun-15	10:39:33 AM
31	36.2	28.89	27-Jun-15	10:39:38 AM
32	35.84	28.53	27-Jun-15	10:39:43 AM
33	36.2	28.89	27-Jun-15	10:41:06 AM
34	36.2	28.89	27-Jun-15	10:41:11 AM
35	36.2	28.89	27-Jun-15	10:41:16 AM
36	36.2	28.89	27-Jun-15	10:41:21 AM
37	36.2	28.89	27-Jun-15	10:41:26 AM
38	36.2	28.89	27-Jun-15	10:41:31 AM
39	36.2	28.89	27-Jun-15	10:41:36 AM
40	36.2	28.89	27-Jun-15	10:41:41 AM

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis Lufi Izzati Aini yang dilahirkan di Kota Gresik pada tanggal 31 Agustus 1994 dari ayah bernama Munawar Efendi dan ibu bernama Imlatul Hasanah. Penulis merupakan anak sulung dari dua bersaudara. Pada tahun 2006, penulis menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di MI Islamiyah Kedayunan. Pada tahun 2009 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 2 Rogojampi. Tahun 2012 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 Giri. Dan pada tahun 2015 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi DIII-Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Akuisisi Data Temperatur di Komponen Kondensor dan Evaporator pada Air Conditioning Laboratory Unit PA Hilton A575”**. Selama perkuliahan penulis pernah menjadi staff HMTF-ITS 2013/2014 di Departemen Komunikasi dan Informasi serta aktif menjadi Asisten Laboratorium di Laboratorium Pengukuran Fisis Teknik Fisika, FTI-ITS. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui email lufiizzati@gmail.com.